

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа \_\_ ИШНПТ

Направление подготовки \_\_ 150401/Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) \_\_ Материаловедение

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование применимости высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ</b>

УДК 621.044-047.37:621.06-529

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Охотин И.С.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении	
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения	
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать	
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа	
<b>Общекультурные компетенции</b>		
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства	
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.	

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа \_\_ ИШНПТ  
Направление подготовки \_\_ 150401/Машиностроение  
Отделение школы (НОЦ) \_\_ Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Возовикову Данилу Максимовичу

Тема работы:

Исследование применимости высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p>Объектом исследования является – эффективность высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами.</p> <p>Задача: Провести сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных.</p>
---------------------------------	---

	Предложить правила и условия применения ВСО стратегий на производстве.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор научно-технической литературы.</li> <li>2. Общие сведения, основные правила и применение ВСО траекторий.</li> <li>3. Моделирование ВСО траекторий.</li> <li>4. Анализ на основе моделирования и экспериментально полученных данных по применению ВСО траекторий.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	1. Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Охотин Иван Сергеевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хаперская Алена Васильевна
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович
Исследовательский (на англ. яз.)	Пичугова Инна Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Обзор научно-технической литературы	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Охотин И.С	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 92 с., 28 рис., 33 табл., 13 источников, 1 прил.

Ключевые слова: Высокоскоростная обработка (ВСО), ЧПУ, эквидистанта, трохоидальная траектория, САМ система

Объектом исследования является: применимость высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ.

Цель работы – доказать эффективность высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами.

В процессе исследования решались следующие задачи: влияние траектории на время обработки детали, определение режимов резания для ВСО обработки, нагрузка на инструмент при классической и ВСО траекторий.

Анализ данных показывает, что с применением ВСО траекторий сокращается время обработки изделия, повышается стойкость инструмента, снижается вибрация при обработке, а также происходит равномерный износ по всей режущей кромке.

Область применения: Машиностроительные предприятия.

Благодарность: ООО «Промышленная механика» г. Томск Арляпову А.Ю за предоставление промышленного оборудования для проведения исследований.

## Оглавление

<b>Введение.</b> ....	<b>6</b>
<b>1. Исследовательский раздел</b> .....	<b>9</b>
1.1 Обзор научно-технической литературы.....	9
1.1.1 Области применения ВСО .....	10
1.1.2 Основные правила ВСО .....	10
1.1.3 Требования системы ЧПУ для ВСО .....	11
1.1.4 Режимы резания.....	11
1.1.5 Траектории ВСО .....	12
1.1.6 Обзор САМ – систем для моделирования ВСО .....	16
<b>2. Моделирование эксперимента</b> .....	<b>18</b>
2.1 Назначение режимов резания. ....	19
2.2 Графики объема снимаемой стружки. ....	22
<b>3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</b> .....	<b>31</b>
3.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.....	32
3.2 Высокоскоростная траектория при черновой обработке на станках ЧПУ ...	32
3.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	33
3.4 FAST – анализ.....	34
3.5 SWOT-анализ.....	39
3.6 Инициация проекта .....	42
3.7 Цели и результат проекта .....	42
3.8 Организационная структура проекта .....	43
3.9 Ограничения и допущения проекта.....	44
3.10 План проекта.....	44
3.11 Бюджет научного исследования .....	47
3.12 Накладные расходы.....	50
3.13 Общие итоги финансирования и расходов .....	51

3.14 Матрица ответственности .....	51
3.15 Оценка экономической эффективности проекта .....	52
3.16 Оценка научно-технического уровня НИР .....	52
3.17 Реестр риска проектов .....	55
3.18 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	56
<b>4. Социальная ответственность .....</b>	<b>60</b>
4.1 Анализ вредных производственных факторов.....	60
4.2 Производственная санитария.....	63
4.2.1 Микроклимат в помещении .....	64
4.2.2 Производственный шум .....	65
4.2.3 Исследование освещенности рабочей зоны .....	66
4.3 Охрана окружающей среды .....	70
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	71
4.5 Электробезопасность .....	72
4.6 Пожарная и взрывная безопасность .....	73
4.7 Законодательные акты .....	78
<b>Список литературы.....</b>	<b>79</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>80</b>

## **Введение.**

Современное производство характеризуется постоянным увеличением темпов выпуска изделия. Это заставляет предприятия, все чаще при изготовлении различных типов деталей, применять нетрадиционные методы и стратегии обработки. Многие компании предлагают различные подходы для повышения производительности, одним из которых является высокоскоростная обработка [1].

Теория использования высоких режимов резания при механической обработке металлов возникла достаточно давно. Однако только сейчас, с появлением современных станков с ЧПУ, частота вращения шпинделя у которых достигает 60 000 об/мин, а скорость рабочей подачи превышает 5000 мм/мин, это стало возможным [2, С. 6-15].

В данной работе исследуется применимость высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ. Целью работы является исследование эффективности высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами и предлагаются условия их применения.

Теоретические исследования проведены на основе изученных статей по данной теме, рекомендаций по применению ВСО траекторий, а также САМ систем. Экспериментальные исследования выполнены на предприятии ООО «Промышленная механика» г. Томск с использованием САМ систем и станков с ЧПУ. Проведен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных.

Анализ данных показывает, что с применением ВСО траекторий сокращается время обработки изделия, повышается стойкость инструмента, снижается вибрация при обработке, а также происходит равномерный износ по всей режущей кромке.

Постановка задачи:



- Изучить основные параметры высокоскоростной обработки;
- Определить оптимальные режимы резания для получения наилучшего результата при высокоскоростной обработке;
- Провести моделирование Высокоскоростной и традиционной обработки;
- Получить теоретические графики нагрузки на инструмент при высокоскоростной и традиционной обработке;
- Выполнить обработку детали на фрезерном станке с ЧПУ;
- Выполнить сравнение на основе моделирования и эксперимента нагрузку на инструмент

Методы исследования.

Поставленные задачи решены современными методами. При назначении режимов резания, моделировании обработки, а так же построения графиков было использовано программное обеспечение Milling Advisor, SprutCAM и VERICUT. В экспериментальных исследованиях использовался 3х-координатный фрезерный станок с ЧПУ Haas VF1 и динамометр Kistler 9257B.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Предложены условия применимости ВСО для повышения производительности при черновой обработке.

Практическая ценность:

1. Используя критерии представленные в работе позволяют технологу сократить время обработки изделия, повысить стойкость инструмента, снизить вибрации при обработке, тем самым снизить себестоимость изделия.

Содержание работы:

В введении обоснована актуальность темы, определены основная цель и задачи, сформулированы новизна и практическая ценность научных результатов, а также дано краткое описание работы.

В первом разделе определен объект исследования, изложен принцип работы, основные правила и области применения. В главе, также перечислены установки для перемешивания вязких сред и конструкций импеллеров.

Во втором разделе представлены теоретические данные, полученные при использовании Milling Advisor, SprutCAM и VERICUT, позволяющие провести эксперимент.

В третьем разделе приведены результаты полученные при проведении эксперимента, а так же ранее полученные результаты при использование CAM систем. Так же представлены результаты сравнения, которые позволяют сделать вывод о проделанной работе.

В заключении изложены основные выводы и результаты работы.

## 1. Исследовательский раздел

### 1.1 Обзор научно-технической литературы

ВСО обработка – современная технология, которая, по сравнению с классическими методами, позволяет увеличить эффективность обработки, уменьшить затрачиваемое время, а так же позволяет рационально использовать режущий инструмент за счет увеличенной ширины фрезерования. За счет данных параметров инструмент изнашивается равномерно по всей режущей кромке.

Эффект ВСО характеризуется структурными изменениями материала в месте среза стружки. При повышении скорости деформаций силы резания изначально увеличиваются, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки начинают существенно уменьшаться (рисунок 1). Время контакта заготовки с режущей частью кромки и стружкой настолько мало, а скорость отрыва стружки очень высока, что большая часть тепла, образующаяся в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, при этом заготовка и инструмент не успевают нагреться[1].

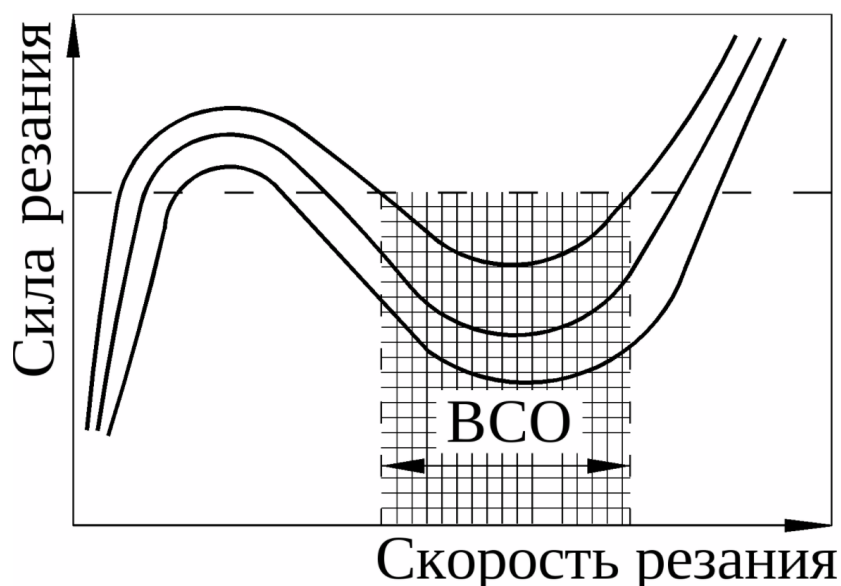


Рис.1 График зависимости силы резания от скорости резания

Главный эффект ВСО заключается во времени обработки, а именно в сокращении машинного времени за счет режимов резания и траектории обработки. При использовании траектории ВСО в разы сокращается количество быстрых перемещений по воздуху, так как при данной стратегии обеспечивается практически непрерывный контакт с материалом.

### 1.1.1 Области применения ВСО

Данная стратегия может использоваться на любом машиностроительном предприятии, которое имеет дело с механообработкой крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов, тонкостенных деталей. А так же для обработки алюминиевых сплавов для производства частей автомобилей, корпусов приборов или медицинских устройств.

### 1.1.2 Основные правила ВСО

- Малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью. Данное правило основывается на задании малых шагов между проходами (рисунок 2), которое достигается путем использования трохоидальной обработки, когда фреза движется по окружности[3].

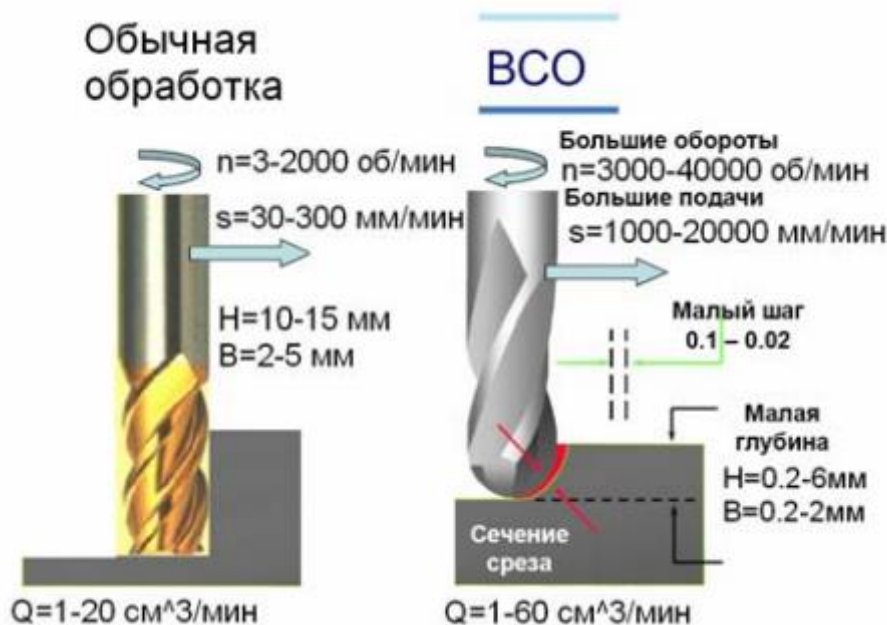


Рисунок 2. Сравнение классической и ВСО обработки

- Снижение динамических нагрузок на инструмент во время резания. Достигается путем максимально возможного исключения углов траектории движения инструмента.

- Равномерная нагрузка на инструмент. При традиционной обработке нагрузка на инструмент непостоянная, так как состоит из многочисленных ходов врезания и выходов инструмента. Поэтому при ВСО предпочтительным считается спиральная стратегия, где инструмент сохраняет равномерный контакт с заготовкой.

### **1.1.3 Требования системы ЧПУ для ВСО**

- Система должна позволять высокую скорость просмотра кадров (100 – 200 кадров/с), для того чтобы успевать сделать расчеты траектории,
- Возможность просматривать данные как минимум на 100 кадров вперед для того, чтобы вычислять изменения величины подачи при подходе инструмента к острым углам и отходе от них,
  - Предварительный просмотр кадров управляющей программы,
  - Регулировка ускорения,
  - Коррекция инструмента (радиус, износ фрезы, длина).

### **1.1.4 Режимы резания**

Определение режимов резания один из главных пунктов для успешной и качественной обработки. Существует различные рекомендации для расчета режимов резания при применении ВСО. Использованные справочники: Milling Advisor, Kennametal, Sandvik Coromant[5-7].

В некоторых случаях необходимо занижать режимы резания при обработке отдельных участков. Например, фрезерование полостей, где опускание происходит по спирали или зигзагу.

Полученные результаты вычисления будут приведены в практической части.

### 1.1.5 Траектории ВСО

Главное требование ВСО при создании траекторий обработки - это обеспечение минимальной и постоянной нагрузки на инструмент, а также создание минимальных холостых ходов. Для этого рассматриваются различные виды основных стратегий ВСО, которые предлагают CAD/CAM системы.

При построении ВСО траектории используют траекторию движения инструмента, составленную из множества окружностей – трохоиду[1] (рисунок 2).

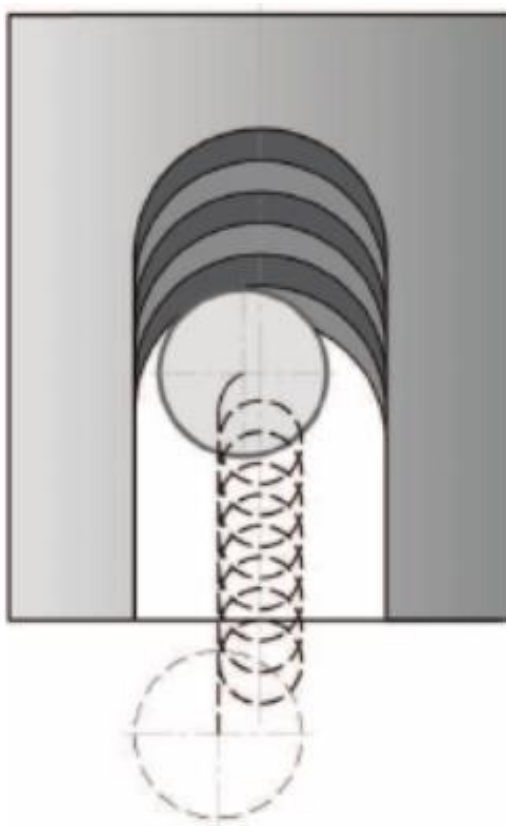


Рисунок 2. Трохоидальная обработка

Внутренние углы и скругления рекомендуется обрабатывать фрезами меньшего диаметра, чтобы исключить увеличение ширины фрезерования (Рисунок 3).

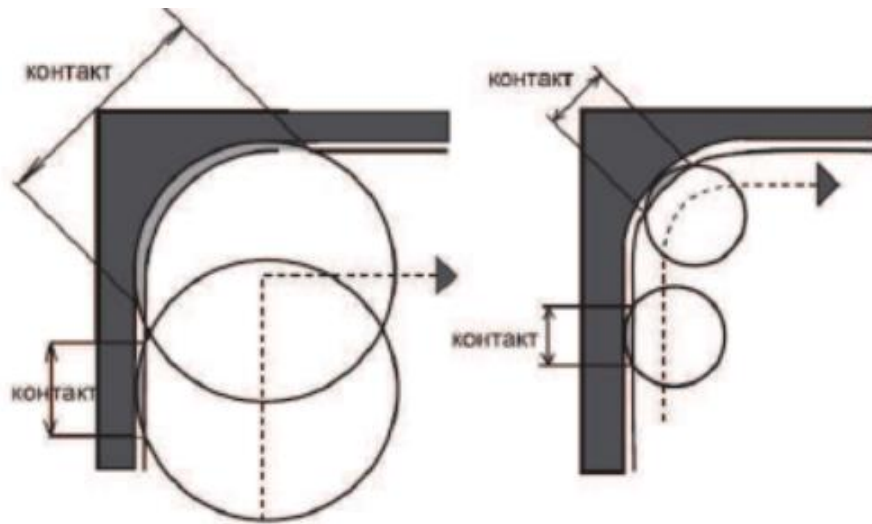


Рисунок 3. Обработка внутренних скруглений

Из-за более высоких подач при ВСО динамические нагрузки при резкой смене инструмента выше, чем при классической обработке, траектория движения инструмента должна быть плавной. Пример показан на рисунке 4.



Рисунок 4. Плавное движение инструмента

Плавность траектории так же может быть достигнута с применением спиральных траекторий (рисунок 5)

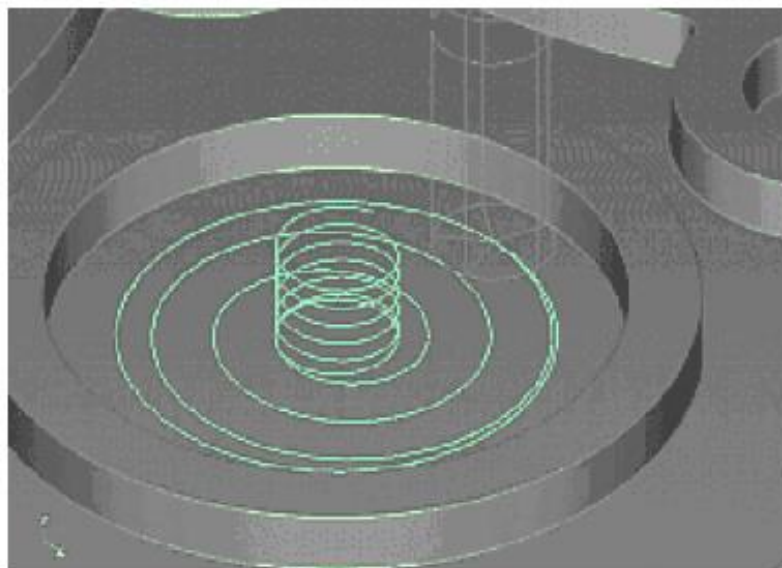


Рисунок 5. Применение спиральных траекторий

Применение ВСО траекторий в PowerMill (Рисунок 6).

Общая длина траектории: 16940 мм

Длина обработки: 16228 мм

Длина ускоренных перемещений: 712 мм

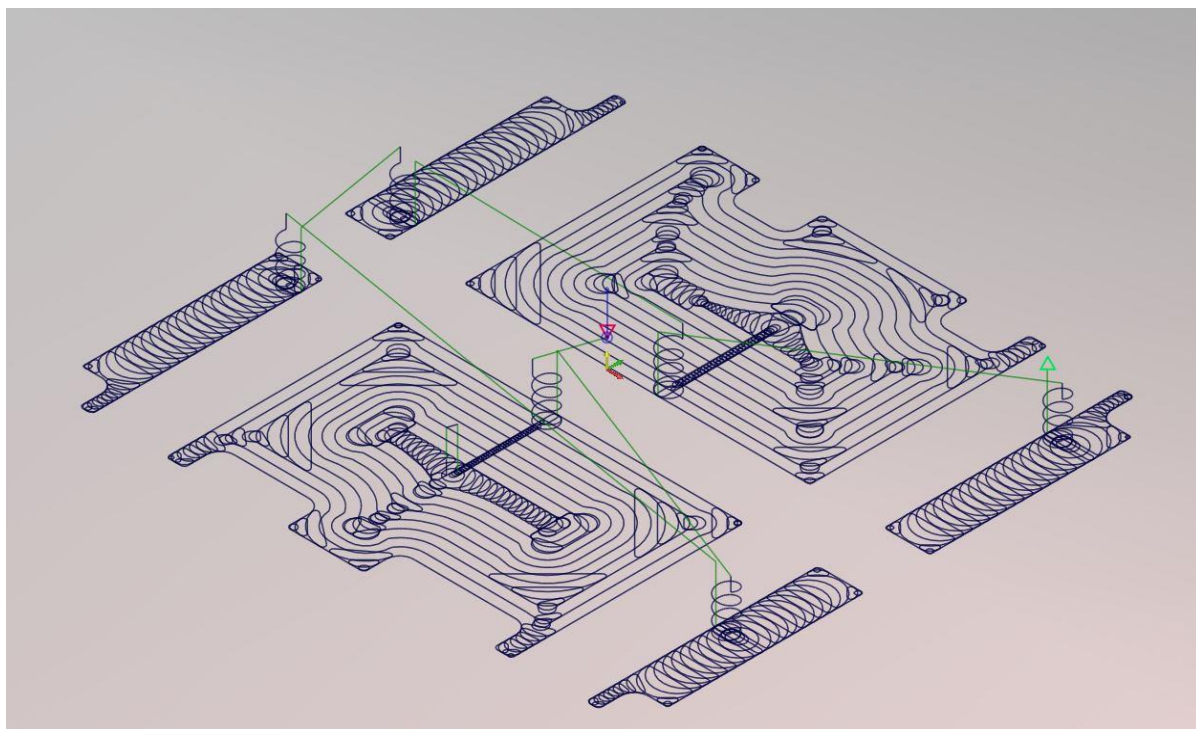


Рисунок 6. Применение ВСО траекторий в PowerMill



Применение ВСО траекторий в MasterCAM (Рисунок 7).

Общая длина траектории: 16434 мм

Длина обработки: 14936 мм

Длина ускоренных перемещений: 1497 мм

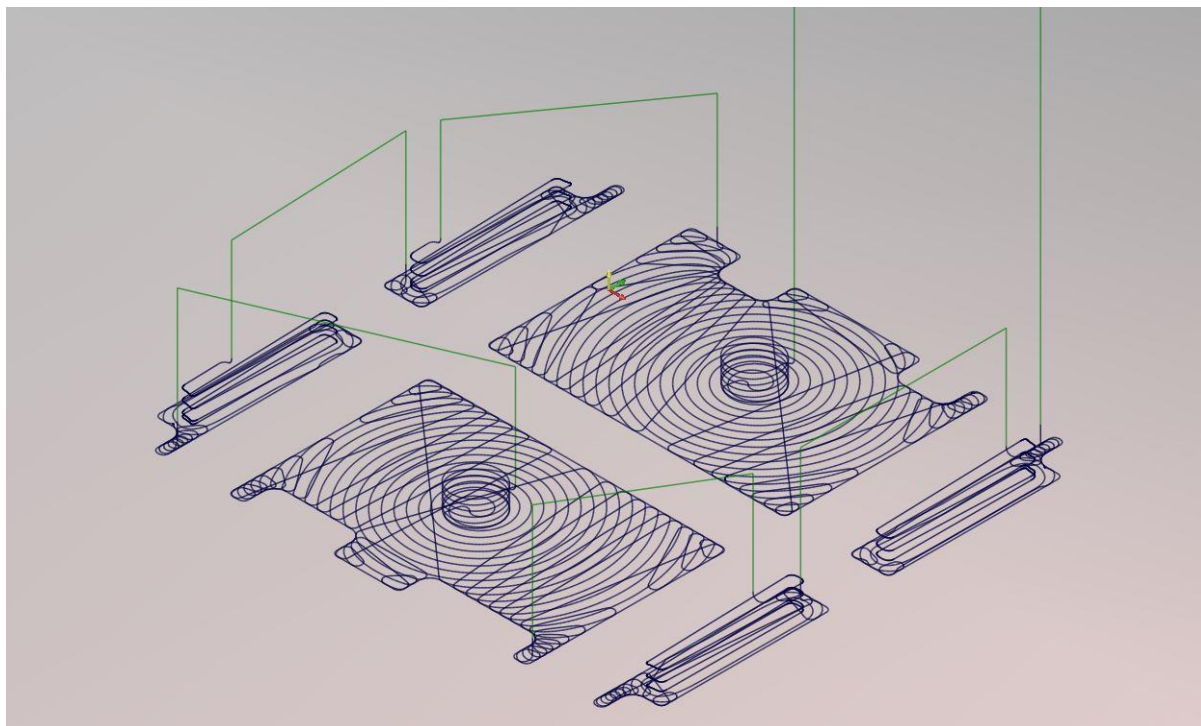


Рисунок 7. Применение ВСО траекторий в MasreCAM

Применение ВСО траекторий в SprutCAM (Рисунок 8).

Общая длина траектории: 12870 мм

Длина обработки: 10897 мм

Длина ускоренных перемещений: 1973 мм

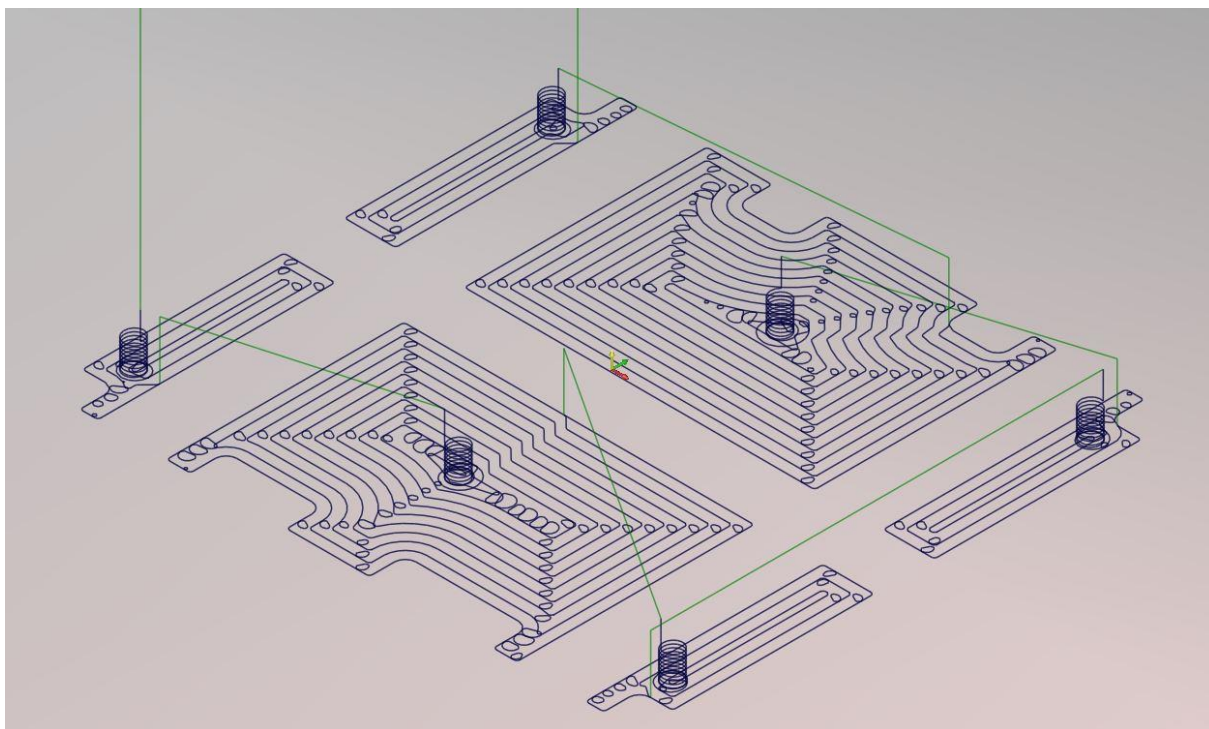


Рисунок 8. Применение BCO траекторий в SprutCAM

В данной магистерской работе будет использована САМ система SprutCAM.

#### 1.1.6 Обзор САМ – систем для моделирования BCO

Внедрение в инженерную практику методов автоматизации проектирования позволяет перейти к моделированию с помощью CAD/CAM/CAE на персональных компьютерах.

- SprutCAM

Отечественная САМ-система, предназначенная для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров. При формировании технологии обработки детали SprutCAM учитывает кинематическую схему станка. Благодаря этому возможно формировать управляющие программы для станков самой различной конфигурации, а рассчитанные перемещения инструмента не нуждаются в дальнейшей модификации для учета каких-либо особенностей станка.

Для проверки применимости высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ, необходимо провести моделирование классической обработки и ВСО обработки, измерить нагрузку на инструмент, а также время, затрачиваемое на черновую обработку детали.

- VERICUT

Программное обеспечение VERICUT моделирует обработку на станках с ЧПУ с тем, чтобы выявить ошибки кода управляющей программы, возможные столкновения между компонентами станка и выявить неэффективные участки в управляющей программе. Таким образом, VERICUT позволяет программистам выявить ошибки в управляющей программе до ее передачи в цех и устранить ручные проверки управляющих программ на станках с ЧПУ. VERICUT содержит в себе так называемый модуль Force. Модуль Force осуществляет оптимизацию управляющих программ путем максимизации толщины стружки, основанную на расчете физических параметров резания. Модуль значительно сокращает время обработки, обеспечивая постоянство сил резания. В процессе симуляции отображаются графики, показывающие условия резания и силы, действующие на режущий инструмент. Эти данные помогают технологам-программистам находить в управляющих программах места выхода значений параметров за пределы возможностей инструмента, которые показаны на графике в виде пиков. С учетом заданных предельных значений отображаются следующие параметры: сила резания, толщины стружки, отжим инструмента, объем удаляемого материала.

- Milling Advisor

Программа предназначенная для расчета оптимальных параметров фрезерования, которая поможет по максимуму использовать потенциал фрез. Milling Advisor предоставляет рекомендации для различных типов

фрезерования, включая высокоскоростные и традиционные методы обработки. Данные рекомендации основаны на типе обрабатываемого материала, на параметрах инструмента, а также методе обработки.

## 2 Моделирование эксперимента

Для определения влияния стратегий на производительность и нагрузки на инструмент, было произведено моделирование. В качестве исследуемой детали (рисунок 9) была выбрана деталь, содержащая паз, 4 кармана с разными углами в 30, 60, 90, 120 градусов, а также выпуклая цилиндрическая часть (бобышка), из алюминиевого сплава Д16Т.

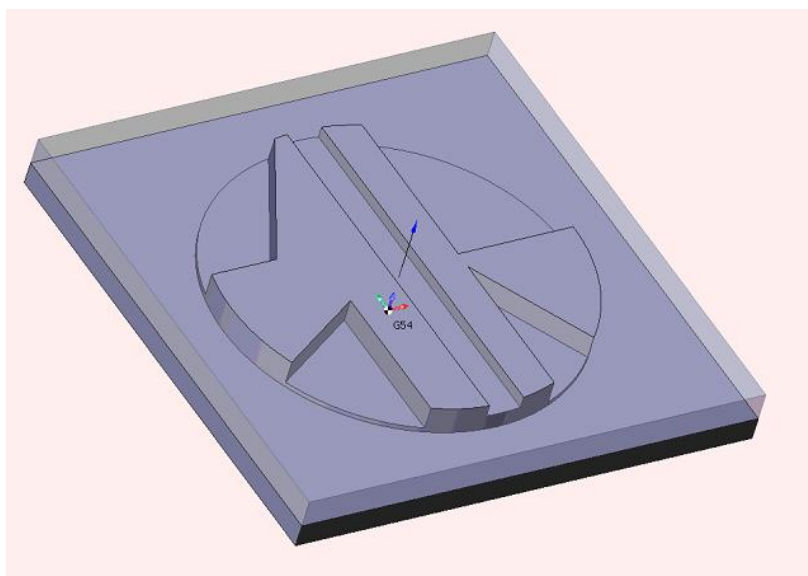


Рисунок 9. Обрабатываемая деталь

Было произведено сравнение двух деталей, изготовленных с применением различных стратегий САМ среды SprutCAM. В качестве базового варианта была выбрана классическая схема обработки детали, особенностями которой является использование эквидистанты, то есть равных отрезков, отложенных в определенном направлении (рисунок 10).

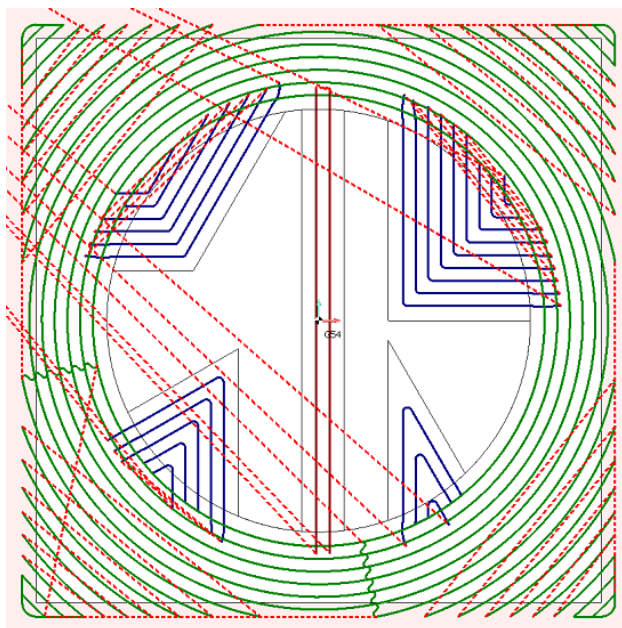


Рисунок 10. Классическая траектория обработки.

В качестве второго варианта была выбрана трохоидальная высокоскоростная стратегия (рисунок 11) с повышенными режимами резания.

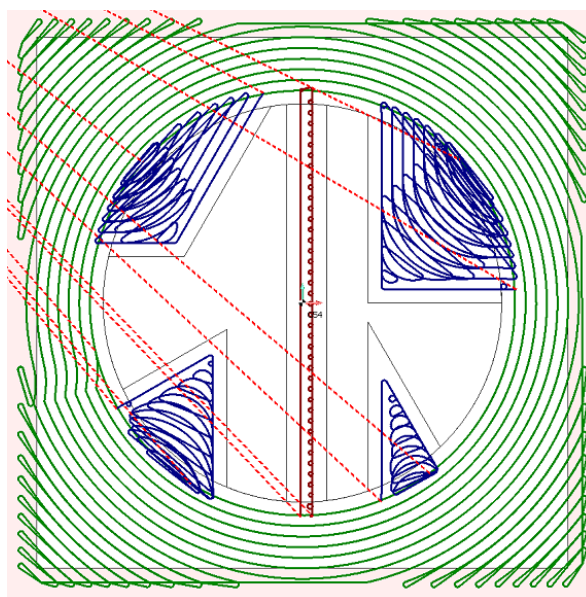


Рисунок 11. Трохоидальная обработка детали.

## 2.1 Назначение режимов резания.

Для вышесказанных стратегий обработки детали необходимо назначить оптимальные параметры фрезерования. Для определения режимов резания

воспользуемся справочниками: Milling Advisor, Kennametal, Sandvik Coromant[5-7]. Так как каждый справочник имеет различные режимы, возьмем среднее значение от полученных данных. Деталь будет обрабатываться твердосплавной цилиндрической фрезой диаметром 16мм. Все рассчитанные режимы резания приведены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы резания

Модуль	Milling Advisor		Kennametal		Sandik Coromant		Среднее значение	
	Классическая траектория	BCO	Классическая траектория	BCO	Классическая траектория	BCO	Классическая траектория	BCO
Скорость резания <b>V<sub>c</sub></b> (м/мин)	247	500	250	400	250	450	249	450
Частота вращения шпинделя <b>N</b> (об/мин)	4912	10000	4974	7958	4970	8950	4952	8969
Подача на зуб <b>Fz</b> (мм)	0,095	0,209	0,12	0,101	0,08	0,187	0,098	0,166
Постоянная подача <b>S</b> (мм/мин)	1867	8363	2568	3183	1990	7160	2141	5955
Ширина фрезерования <b>A<sub>e</sub></b> (мм)	7,2	4,8	8	4	7	3,57	7,4	4,1
Глубина фрезерования <b>A<sub>p</sub></b> (мм)	16	32	24	24	12	12	17,3	22,6
Время обработки <b>T<sub>обр.</sub></b> (мин)							2,48	1,52
Время перемещений <b>T<sub>пер</sub></b>							3,40	1,23

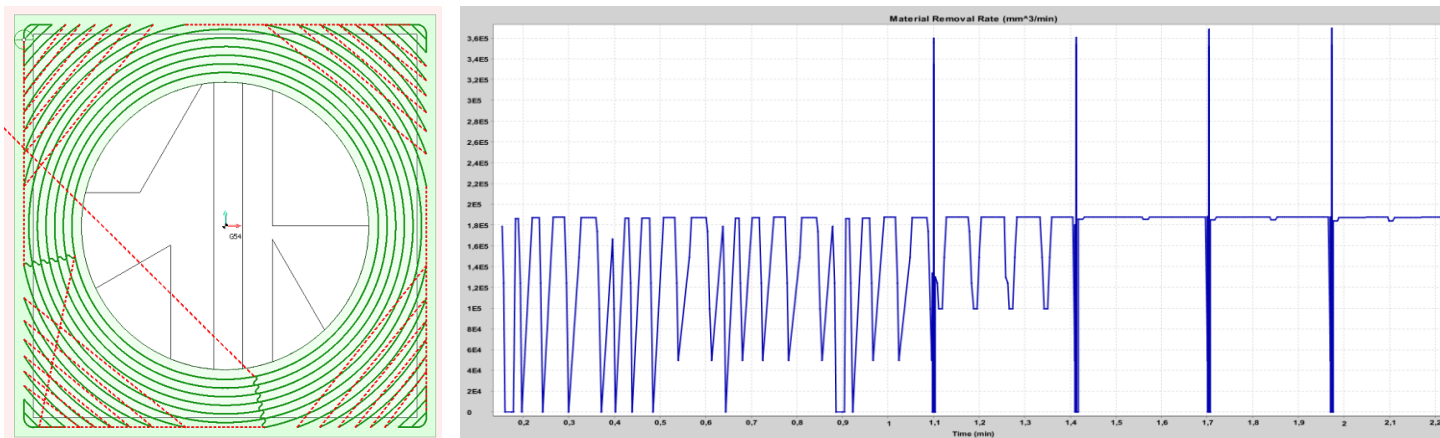
## **2.2 Графики объема снимаемой стружки.**

Моделирование обработки и получение графиков нагрузки на инструмент были получены в программной среде VeriCUT. Для простоты просмотра полученного результата, деталь была поделена зоны обработки.



1 зона. Обработка цилиндрической части и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 12.

Классическая траектория



ВСО траектория

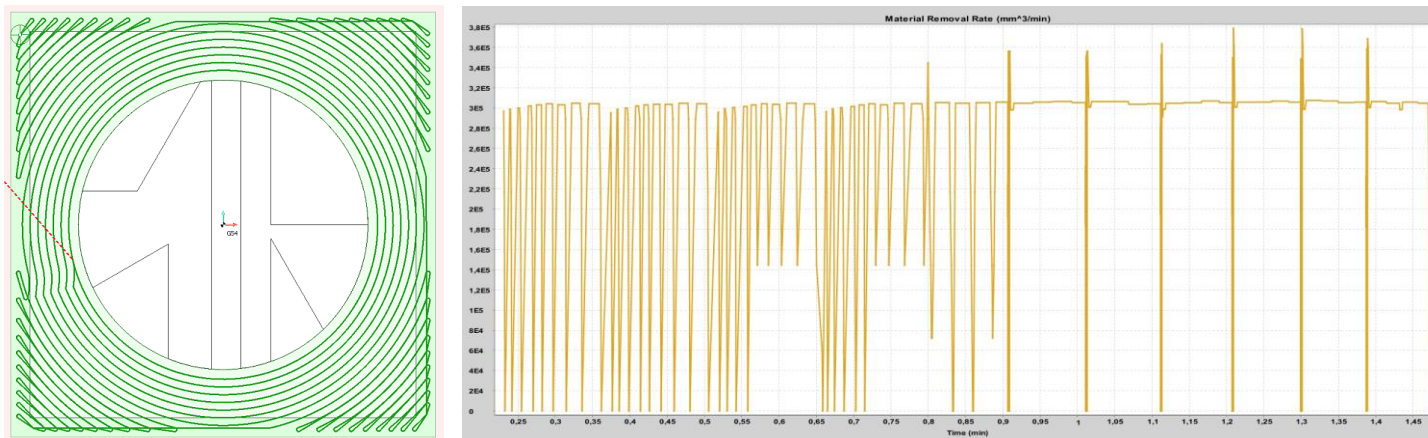
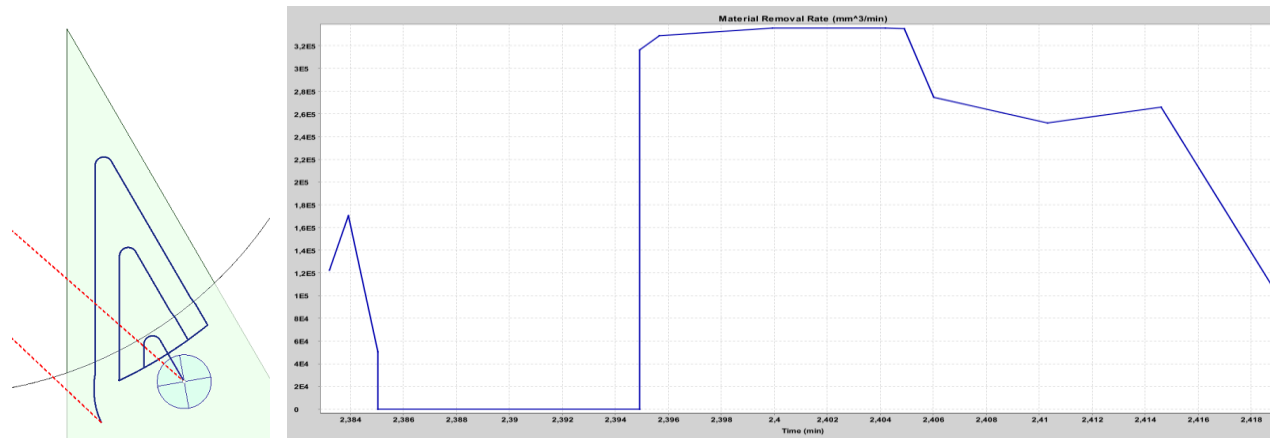


Рисунок 12. Графики объема снимаемой стружки.

2 зона. Обработка паза с углом 30 градусов и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 13.

Классическая траектория



ВСО траектория

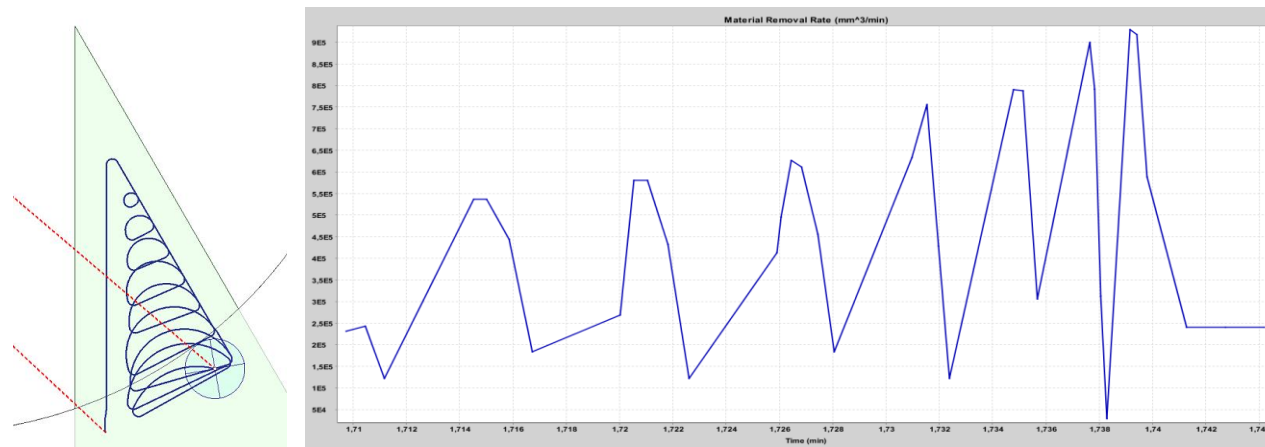
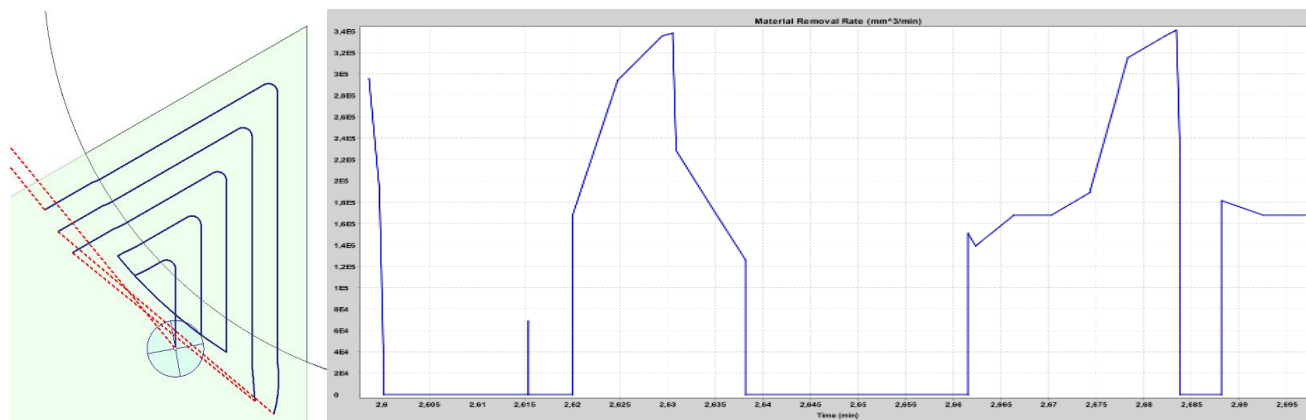


Рисунок 13. Графики объема снимаемой стружки.

3 зона. Обработка паза с углом 60 градусов и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 14.

Классическая траектория



BCO траектория

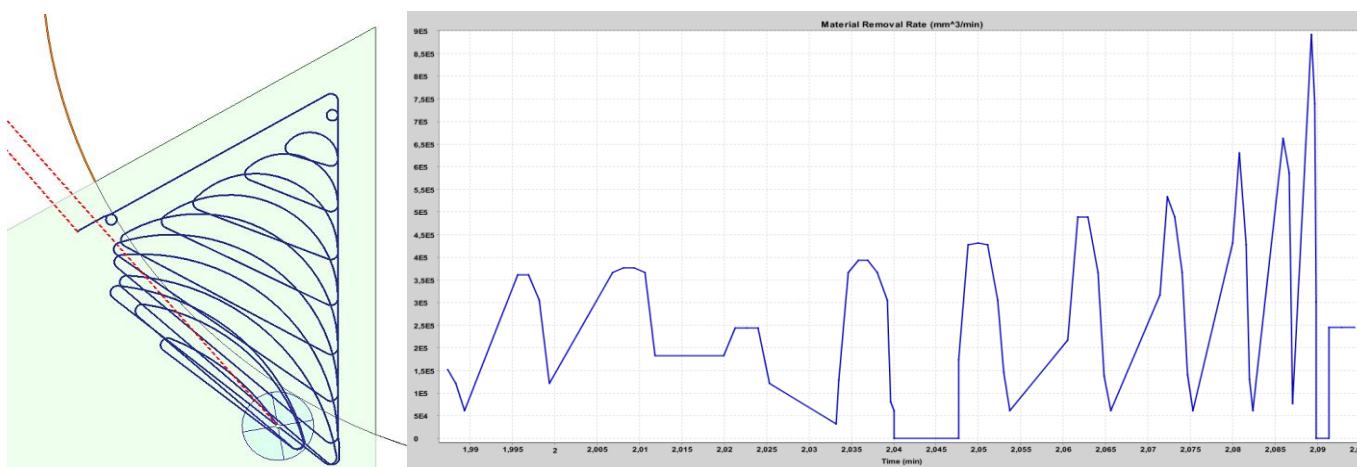
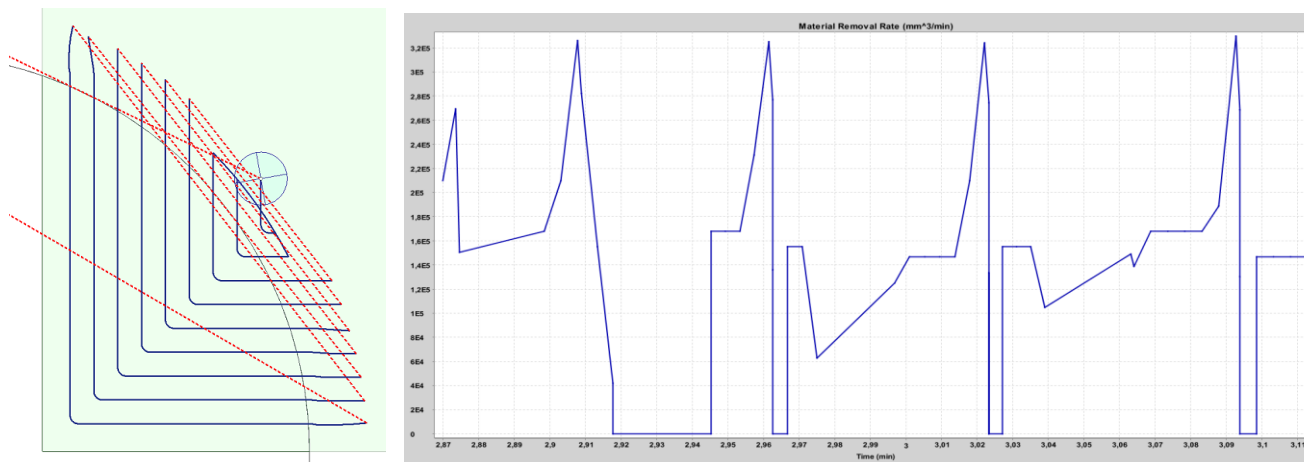


Рисунок 14. Графики объема снимаемой стружки.

4 зона. Обработка паза с углом 90 градусов и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 15.

Классическая траектория



ВСО траектория

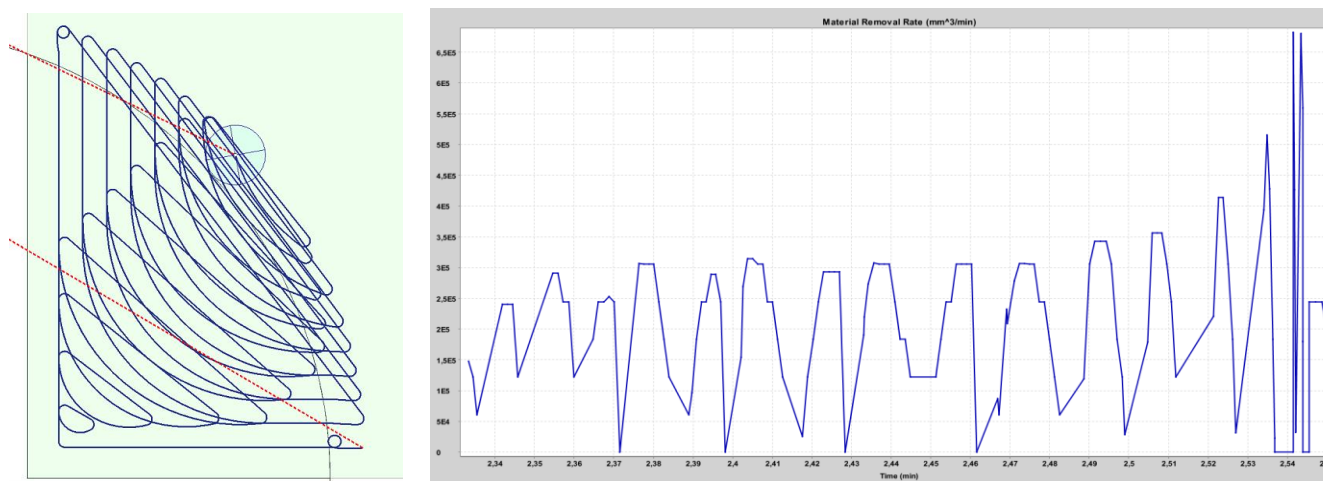
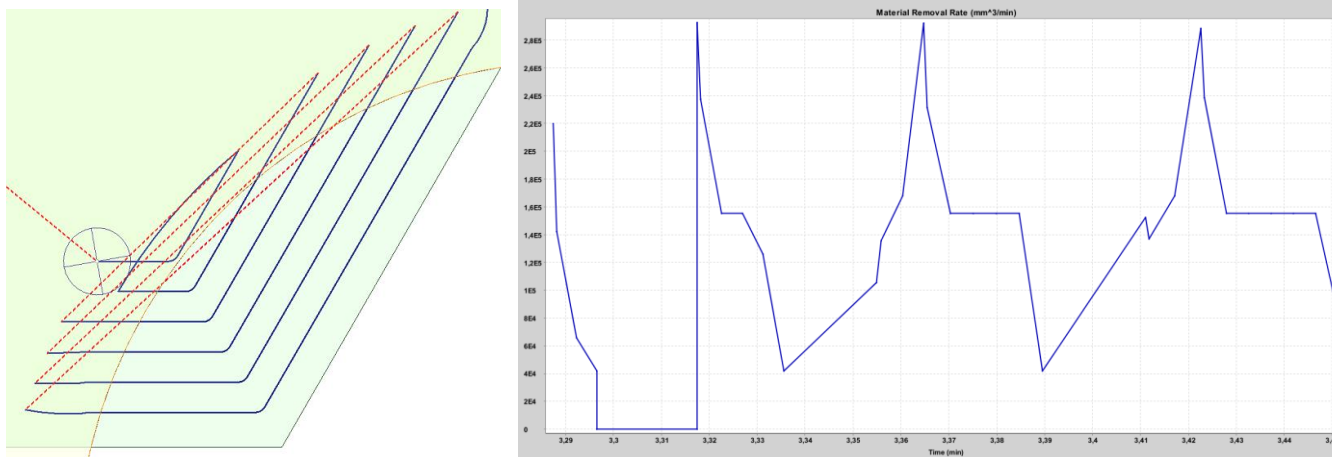


Рисунок 15. Графики объема снимаемой стружки.

5 зона. Обработка паза с углом 120 градусов и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 16.

Классическая траектория



ВСО траектория

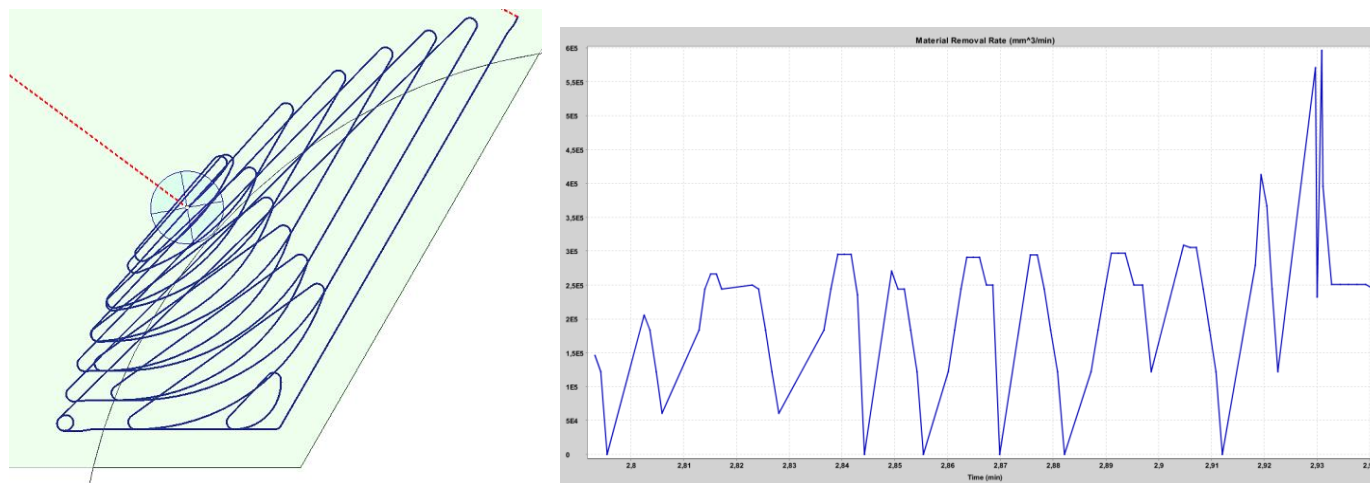
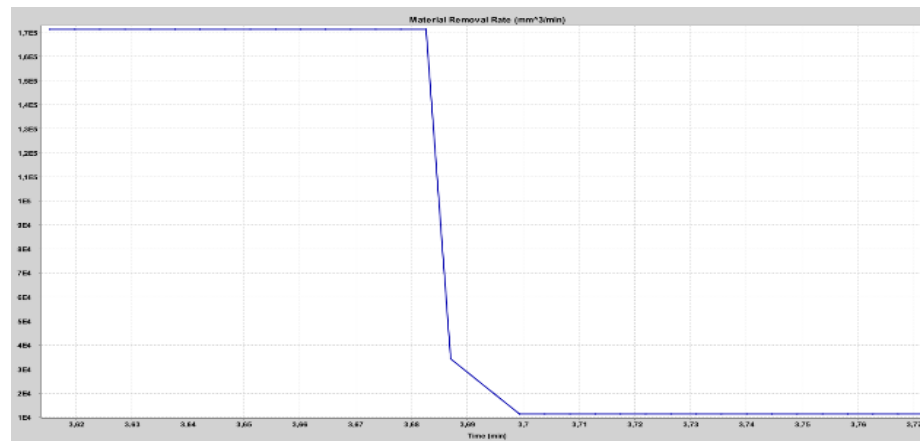
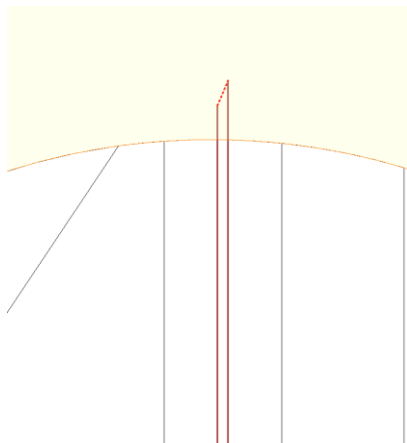


Рисунок 16. Графики объема снимаемой стружки.

6 зона. Обработка прямого паза и полученный графики объема снимаемой стружки показаны на рисунке 17.

Классическая траектория



ВСО траектория

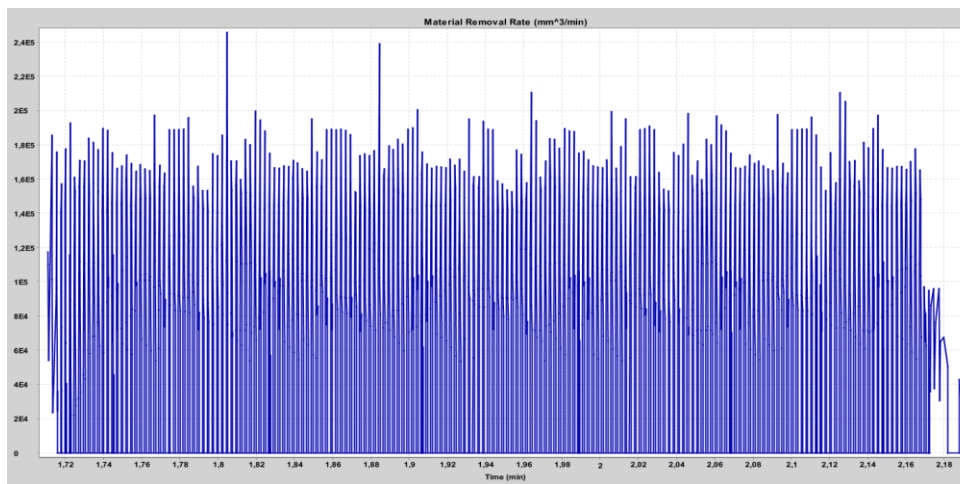
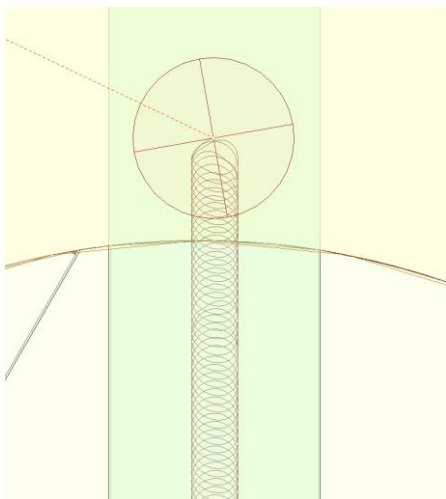


Рисунок 17. Графики объема снимаемой стружки



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	150401/Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	...

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	...
2. Разработка устава научно-технического проекта	...
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	...
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	...

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хаперская Алена Васильевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович		



### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **3.1 Пред проектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования**

Исследуется применимость высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках ЧПУ. Высокоскоростные траектории могут быть использованы в серийном и массовом машиностроительном производстве. А так же использована для увеличения срока службы инструмента и уменьшения времени обработки.

### **3.2 Высокоскоростная траектория при черновой обработке на станках ЧПУ**

ВСО обработка – современная технология, которая, по сравнению с классическими методами, позволяет увеличить эффективность, точность и качество обработки. Отличительная особенность ВСО – высокая скорость резания, при которой значительно повышается температура в зоне образования стружки, обрабатываемый материал становится мягче, силы резания уменьшаются, что позволяет увеличить рабочую подачу.

ВСО – это не просто механообработка с высокой скоростью резания, а процесс обработки выполненный специфическими методами на специальном оборудовании. В основном реализуется при 5-ти осевом фрезеровании, но

также возможно и на 3-х осевом. Такой способ обработки позволяет обрабатывать труднодоступные поверхности более эффективно, используя инструмент с меньшим вылетом.

Преимуществом ВСО являются малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью. Снижение динамических нагрузок на инструмент во время резания за счет максимально возможного исключения углов траектории движения инструмента.

### 3.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Основным конкурентом является классическая траектория обработки деталей. Данная обработка широко применяется в современном машиностроении в силу своей простоты и доступности. Классическая обработка состоит из многочисленных ходов врезания и выходов инструмента.

Основными достоинствами такой обработки является простота и дешевизна.

Таблица 1 «Оценочная карта для сравнения конкурентных решений»

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,1	5	4	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Простота в эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
Энергоэкономичность	0,15	3	2	0,45	0,3
Надежность	0,08	3	4	0,24	0,32
Уровень шума	0,05	2	2	0,1	0,1
Безопасность	0,08	4	4	0,32	0,32
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,09	5	5	0,45	0,45
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,4
Цена	0,05	5	3	0,25	0,15
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	0,5	0,2
ИТОГО	1	44	39	4,01	3,54

Как видно из таблицы, по техническим критериям обе траектории имеют достаточно равные параметры. При этом ВСО выигрывает по производительности труда и незначительно проигрывает надежности. Однако, по экономическим критериям ВСО оказывается лучше конкурента. У нее более длительный срок эксплуатации, ниже цена.

Из всего этого можно сделать вывод, что ВСО является более дешевой, ее использование на предприятии экономически более оправдано.

### 3.4 FAST – анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В качестве объекта FAST-анализа выступает ВСО. Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 2.

Таблица 2 «Описание главной, основных, и вспомогательных функций»

Наименование процесса	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранги функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Управляющая программа для ЧПУ станка	-	Основная программа для получения заданной детали	X		
Разработка программы	1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем		X	
Режущий инструмент	1	Съем материала		X	

Режимы резания	2	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка		X	
Наладка программы	1	Нахождение ошибок и их исправление			X

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Строим матрицу смежности функции таблица 3.

Таблица 3 «Матрица смежности функций»

	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	Съем материала	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	Нахождение ошибок и их исправление
Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	=	>	>	>
Съем материала	>	=	<	<
Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	=	>	=	>
Нахождение ошибок и их исправление	<	<	<	=

Преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций.

Таблица 4 «Матрица количественных соотношений функций»

	Написание программы для станка при	Съем материала	Равномерное распределение нагрузки на	Нахождение ошибок и их исправление	Итог
--	------------------------------------	----------------	---------------------------------------	------------------------------------	------

	помощи CAD-CAM систем		инструмент и качественная обработка		
Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	1	1,5	1,5	1,5	5,5
Съем материала	1,5	1	0,5	0,5	4,5
Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	1	1,5	1	1,5	5
Нахождение ошибок и их исправление	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma = 17,5$

Определяем значимость каждой функции:

Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем:

$$5,5/17,5 = 0,31;$$

Съем материала:  $4,5/17,5 = 0,26;$

Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка:  $5/17,5 = 0,29;$

Нахождение ошибок и их исправление:  $2,5/17,5 = 0,14;$

Таблица 5 «Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования»

Наименование детали	Количество	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
---------------------	------------	---------------------	-------------------	------------------------------	-----------	------------------------	---------------------

	деталей на узел				материал а, руб.		
Управляющ ая программа для ЧПУ станка	-	Основная программа для получения заданной детали	-	-	-	-	-
Разработка программы	1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	-	2	300	360	660
Режущий инструмент	1	Съем материала	-	2	2000	290	2290
Режимы резания	2	Равномерно е распределен ие нагрузки на инструмент и качественна я обработка	-	0,5	150	180	330
Наладка программы	1	Нахождение ошибок и их исправление	-	1	150	180	330
							$\Sigma = 3610$

Определим относительные затраты на функцию:

Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем:

$$660/3610 = 0,18;$$

$$\text{Съем материала: } 2290/3610 = 0,63;$$

Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка:  $330/3610 = 0,09$ ;

Нахождение ошибок и их исправление:  $330/3610 = 0,09$ ;

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (Рис. 1):

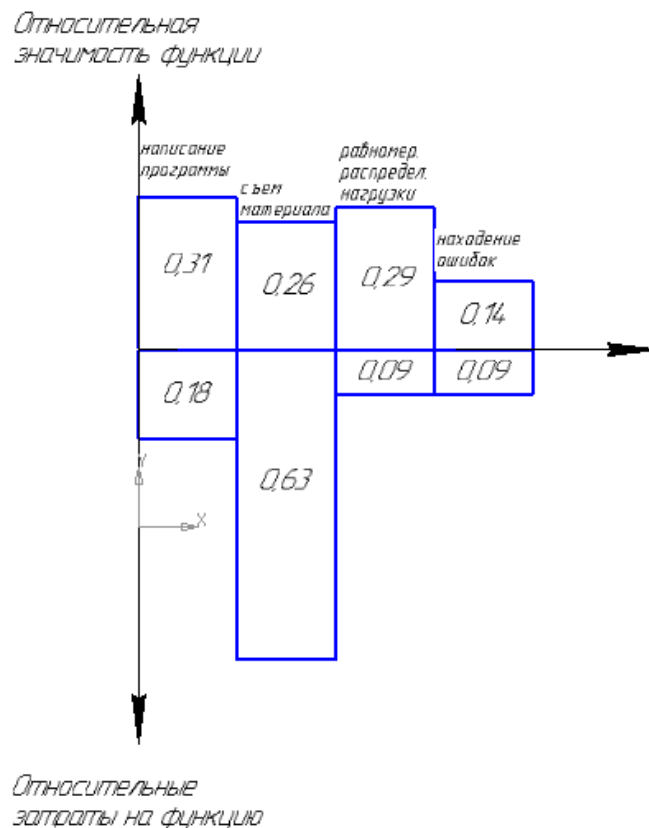


Рис.1 - Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по 1, 2, 3, 4 пунктам. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- оптимизации технических параметров;
- применения новых техпроцессов, заготовок и материалов;
- оптимизации параметров надежности;



В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

### 3.5 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 6.

Таблица 6 «Матрица SWOT»

<b>Strengths (сильные стороны)</b> С1. Высокая производительность обработки. С2. Равномерная нагрузка на инструмент. С3. Минимальное количество ускоренных перемещений. С4. Увеличение срока службы инструмента.	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b> Сл1. Дорогое программное обеспечение. Сл2. Обработка только алюминиевых сплавов. Сл3. Высококвалифицированный программист.
<b>Opportunities (возможности)</b> В1. Обработка крупногабаритных деталей, корпусных деталей с труднодоступными местами. В2. Обработка с высокой скоростью и сохранение высокой точности. В3. Постепенное внедрение в производство.	<b>Threats (угрозы)</b> У1. Неготовность предприятий перейти на новые способы обработки. У2. Нехватка специалистов. У3. При переходе на данную технологию предприятиям понадобится закупка нового оборудования.

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах ниже.

Таблица 7 «Интерактивная матрица проекта Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	-	0	0	-

Таблица 8 «Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	+
	B2	+	0	+
	B3	+	0	+

Таблица 9 «Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	Y1	-	-	-	-
	Y2	-	-	-	-
	Y3	+	+	+	+

Таблица 10 «Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	+	+
	У3	+	+	+

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 11.

Таблица 11 «Итоговая матрица SWOT»

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Высокая производительность обработки.</p> <p>С2. Равномерная нагрузка на инструмент.</p> <p>С3. Минимальное количество ускоренных перемещений.</p> <p>С4. Увеличение срока службы инструмента.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Дорогое программное обеспечение.</p> <p>Сл2. Обработка только алюминиевых сплавов.</p> <p>Сл3. Высококвалифицированный программист.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Обработка крупногабаритных деталей, корпусных деталей с труднодоступными местами.</p> <p>В2. Обработка с высокой скоростью и сохранение высокой точности.</p> <p>В3. Постепенное внедрение в производство.</p>	<p>В1С1С2С3С4</p> <p>В2С1С2С3С4</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл3</p> <p>В2Сл1Сл2Сл3</p> <p>В3Сл1Сл2Сл3</p>

<b>Угрозы:</b> У1. Неготовность предприятий перейти на новые способы обработки.  У2. Нехватка специалистов.  У3. При переходе на данную технологию предприятиям понадобится закупка нового оборудования.	У3С1С2С3С4	У1Сл1Сл2Сл3 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3
---	------------	-------------------------------------

### 3.6 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 3.7 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 12 «Заинтересованные стороны проекта»

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Магистрант	Магистерская диссертация
Руководитель проекта	Исследование ВСО

В таблице представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 12 «Цели и результаты проекта»

<b>Цели проекта:</b>	Исследование применимости ВСО при черновой обработке
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение результатов обработки
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Эффективная и работоспособная траектория ВСО
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Моделирование ВСО обработки
	Проведение эксперимента
	Оформленная магистерская диссертация

### 3.8 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице.

Таблица 13 «Рабочая группа проекта»

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Возовиков Д.М., магистрант отд. Материаловедения	Исполнитель	1. Моделирование траектории. 2. Испытание траектории. 3. Составление отчета.	1500
2	Охотин И.С., НИ ТПУ, к.т.н., доцент	Руководитель, эксперт	1. Консультация по теоретической части проекта. 2. Помощь в изучении ПО и написании программы. 3. Помощь в проведении анализа испытания и оформлении отчета.	130
ИТОГО:				1630

### 3.9 Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 14 «Ограничения проекта»

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	4000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО «Промышленная механика» г. Томск
3.2. Сроки проекта:	15.10.2017-10.06.2018
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	18.10.2017
3.3. Прочие ограничения и допущения*	-

### 3.10 План проекта














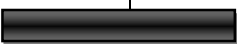


В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Календарный график представляется в виде таблицы 12

Таблица 15 «Календарный план проекта»

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Постановка целей и задач	3	10.10.17	13.10.17	Охотин И.С.
2	Изучение литературы	30	16.10.17	16.11.17	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
3	Разработка календарного плана	3	17.11.17	20.11.17	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
4	Обсуждение литературы	20	25.11.17	15.12.17	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
5	Изучение CAD-CAM систем	12	16.12.17	29.12.17	Охотин И.С. Возовиков Д.М.

6	Написание управляющей программы	20	11.01.18	31.01.18	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
7	Моделирование эксперимента	15	1.02.18	16.02.18	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
8	Проведение испытания	4	19.02.18	23.02.18	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
9	Анализ результатов испытания	25	5.03.18	31.03.18	Возовиков Д.М.
10	Оформление пояснительной записки	53	2.04.18	25.05.18	Возовиков Д.М.
11	Подведение итогов	14	28.05.18	10.06.18	Охотин И.С. Возовиков Д.М.
И т о г о:		199			

Таблица 16 «Календарный план-график проведения НИОКР по теме»

Код работы	Вид работы	Исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ								
				окт.	нояб.	дек.	январ.	фев.	март	апр.	май	июнь
1	Постановка целей и задач	Охотин И.С.	3									
2	Изучение литературы	Возовиков Д.М.	30									
3	Разработка календарного плана	Охотин И.С.	3									
		Возовиков Д.М.	3									
4	Обсуждение литературы	Охотин И.С.	20									
		Возовиков Д.М.	20									
5	Изучение САД-САМ систем	Возовиков Д.М.	12									
6	Написание управляющей программы	Возовиков Д.М.	20									
7	Моделирование эксперимента	Охотин И.С.	10									
		Возовиков Д.М.	15									
8	Проведение испытания	Охотин И.С.	4									
		Возовиков Д.М.	4									
9	Анализ результатов испытания	Возовиков Д.М.	25									
10	Оформление пояснительной записки	Возовиков Д.М.	53									
11	Подведение итогов	Охотин И.С.	7									
		Возовиков Д.М.	14									



 - руководитель  - инженер



Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

### 3.11 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

1) Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты  
(за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 17 «Сырье, материалы, комплектующие изделия»

Наименование, марка	Размер	Кол-во, шт. (кг)	Цена за единицу (кг), руб.	Сумма, руб.
Твердосплавная концевая фреза D10		1	2000	2000
Твердосплавная концевая фреза D10		1	2000	2000
Алюминий Д16Т 25 × 200 × 200 мм	25 × 200 × 200 мм	2,8	1990	1990
Всего за материалы				7007
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				299,5
Итого по статье $C_m$				6289,5

## 2) Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

, где:  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя и инженера (магистранта) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * T_{раб}$$

, где:  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m * M}{F_d}$$

, где:  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.  $F_d=1790$  рабочих дней.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_б * (k_{пр} + k_d) * k_p$$

, где:  $З_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 18.

Таблица 18 «Расчет основной заработной платы»

Исполнители	$Z_{б,}$ руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_{м,}$ руб.	$Z_{дн,}$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн,}$ руб.
Руководитель	12663,8	1,2	1,1	1,3	37864,76	275,3	47	12939,1
Инженер	22075,48	1,2	1,1	1,3	66005,68	112,63	166	18696,58

### 3) Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} * Z_{осн}$$

где:  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Таблица 19 «Заработная плата исполнителей НТИ»

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	12939,1	18696,58
Дополнительная зарплата	1293,91	1869,65
Итого по статье $C_{зп}$	34799,24	

#### 4) Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

, где:  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 34799,24 = 10439,77 \text{ руб.}$$

### 3.12 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

, где:  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot 34799,24 = 27839,39 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проведения исследований.

Все данные сведены в таблицу 20.

Таблица 20 «Группировка затрат по статьям»

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	6289,5
Основная заработная плата	31635,68
Дополнительная заработная плата	3163,56
Отчисления на социальные нужды	10439,77
Накладные расходы	27839,39
Итоговая плановая себестоимость	79367,9

### 3.13 Общие итоги финансирования и расходов

Итоговая плановая себестоимость составила 79367,9 рублей, финансирование составило 4000 рублей. Посчитаем разницу:

$$79367,9 - 4000 = 75367,9 \text{ р.}$$

Разница составляет 75367,9 рублей, расходы превышают поступления. Разработка и выполнение проекта велись на базе ООО «Промышленная механика», с использованием оборудования и материалов предприятия. Таким образом, недостающая разница в финансировании проекта была покрыта за счет предприятия.

### 3.14 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности.

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Таблица 21 «Матрица ответственности»

Этапы проекта	Инженер (магистрант)	Руководитель проекта
1. Постановка целей и задач	И	О
2. Изучение литературы	И	О
3. Разработка календарного плана	И	О
4. Обсуждение литературы	И	О
5. Изучение CAD-CAM систем	И	О

6. Написание управляющей программы	И	О
7. Моделирование эксперимента	И	О
8. Проведение испытания	И	О
9. Анализ результатов испытания	И	У
10. Оформление пояснительной записки	И	У
11. Подведение итогов	И	О

### 3.15 Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. с целью получения определенного результата в будущем. Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

- результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;
- результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;
- связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности проекта не представляется возможным.

### 3.16 Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i,$$

, где:  $R_i$ –весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$ – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 22 «Весовые коэффициенты признаков НТУ»

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та $n_i$
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,1
3. Возможность реализации	0,4

Таблица 23 «Баллы для оценки уровня новизны»

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 24 «Баллы значимости теоретических уровней»

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 25 «Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам»

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 26 «Оценка уровня научно-технического эффекта»

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 27 «Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР»

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,5	Относительно новая	3	Систематизация данных о различных видах траектории обработки, формирование рекомендаций по выбору параметров режимов резания и выбора траектории обработки.
Теоретический уровень	0,1	Элементарный анализ связей между фактами	2	Углубленное изучение CAD-CAM систем для написания ВСО траектории. Рекомендации по настройке управляющей программы.
Возможность реализации	0,4	От 5 – 10 лет	4	Проведен эксперимент. Проведена аналитика полученных данных. Сделаны выводы.



Из сводной таблицы оценки научно-технического уровня НИР можно сделать вывод, что несмотря на невысокий теоретический уровень и отсутствия принципиально новой информации, высокоскоростная стратегия обработки на станках ЧПУ показала неплохие результаты. Но для внедрения в производство необходимы дополнительные испытания, а также не все предприятия готовы к нововведениям и затратам на их освоения.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,5 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,4 \cdot 4 = 1,2 + 0,5 + 5 = 3,3$$

Таким образом данное исследование имеет уровень ниже среднего научно-технического эффекта.

### 3.17 Реестр риска проектов

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 28 «Реестр рисков»

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Поставки материала	Срыв поставок материала	2	2	Низкий	Найти надежных поставщиков	Истечение срока договора
2	Экономический	Снижение финансирования	3	3	Средний	Найти материалы по низкой цене	Экономический кризис
3	Технический	Изменение технологии обработки	3	3	Средний	Применение более универсального оборудования	Изменение траектории

### 3.18 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где  $I^a$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 29 «Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта»

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,20	4	5
Помехоустойчивость	0,1	2	2
Энергосбережение	0,1	2	1
Надежность	0,1	4	5
Материалоемкость	0,25	4	3
ИТОГО	1	21	20

$$I_{\text{ТП}} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 = 3,85;$$

$$I_{\text{Аналог}} = 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,25 = 3,55.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p}, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  - сравнительная эффективность проекта;

Таблица 30 «Сравнительная эффективность разработки»

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,14	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,69	4,77
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,01	

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

При сравнение значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным решением является Использование ВСО траектории.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	150401/Машиностроение

**Тема дипломной работы: «Исследование применимости высокоскоростных траекторий при черновой обработке на станках с ЧПУ».**

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования является участок цеха находящаяся в 16 корпусе, в котором производится обработка детали, а также содержащиеся в данном цеху станки и сопутствующее оборудование.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Подвижные части производственного оборудования</li> <li>— Опасность поражения электрическим током</li> <li>— Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.</li> <li>— Повышенный уровень шума на рабочем месте</li> <li>— Повышенный уровень вибрации</li> <li>— Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Влияние деятельности на ОС: литосферу, атмосферу и гидросферу</li> <li>— Наличие отходов (металлическая стружка, СОЖ) потребовали разработки способов утилизации перечисленных отходов</li> </ul>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: <ul style="list-style-type: none"> <li>1) природная - сильные морозы зимой;</li> <li>2) Техногенная - большая вероятность проведения диверсии</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2018
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович		

#### **4. Социальная ответственность**

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-технолога в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований по эффективности высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами и условия их применения. Все исследования связанные с данной работой производились на базе ООО «Промышленная механика». В ходе экспериментальных исследований использовался 3х-координатный фрезерный станок с ЧПУ Haas VF1 и динамометр Kistler 9257B. Полученные результаты эксперимента обрабатывались на ПК.

Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной санитарии.

##### **4.1 Анализ вредных производственных факторов**

Работа производилась на 3х-координатном фрезерном станке, при работе на котором существует ряд вредных и опасных производственных факторов. В работе был задействован станок:

- 1) 3х-координатный фрезерный станок с ЧПУ Haas VF1.

Для работы на станке существует своя типовая инструкция по охране труда:

- ТОИ Р-15-050-97 «Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки)».

Обработка металлов может сопровождаться наличием ряда вредных и опасных производственных факторов, в том числе:

- электрический ток;
- абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;
- отлетающие кусочки металла, абразивного материала;
- высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента;
- повышенный уровень вибрации;
- движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
- недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока.

Кроме того, в ходе выполнения данного проекта большое количество времени работе велась с использованием ПЭВМ и станков с ЧПУ, в которые так же встроены ЭВМ. Для работы с данным оборудованием существует следующая типовая инструкция: ТОИ Р 01-00-01-96 «Типовая инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов (ВДТ)». Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда. В процессе труда на оператора ПЭВМ оказывают действие следующие опасные и вредные производственные факторы:

1) физические:

- повышенные уровни электромагнитного излучения;
- повышенные уровни рентгеновского излучения;
- повышенные уровни ультрафиолетового излучения;
- повышенный уровень инфракрасного излучения;

- повышенный уровень статического электричества;
- повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
- повышенное содержание положительных аэроионов в воздухе рабочей зоны;
- пониженное содержание отрицательных аэроионов в воздухе рабочей зоны;
- пониженная или повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
- пониженная или повышенная подвижность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;
- повышенный или пониженный уровень освещенности;
- повышенный уровень прямой блескости;
- повышенный уровень отраженной блескости;
- повышенный уровень ослепленности;
- неравномерность распределения яркости в поле зрения;
- повышенная яркость светового изображения;
- повышенный уровень пульсации светового потока;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

2) химические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода, озона, аммиака, фенола, формальдегида и полихлорированных бифенилов;

3) психофизиологические:

- напряжение зрения;
- напряжение внимания;
- интеллектуальные нагрузки;
- эмоциональные нагрузки;
- длительные статические нагрузки;



- монотонность труда;
- большой объем информации обрабатываемой в единицу времени;
- нерациональная организация рабочего места;

4) биологические:

- повышенное содержание в воздухе рабочей зоны

микроорганизмов.

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных производственных факторов.

## **4.2 Производственная санитария**

Производственное помещение – это пространство, производственная среда, где осуществляется трудовая деятельность человека. Поэтому в производственных помещениях, оказывающих существенное влияние на безопасность и самочувствие человека, должны быть обеспечены и соблюдены нормативные санитарно- технические условия.

Выбор типа производственного помещения определяется производственным процессом, и при анализе опасных и вредных факторов необходимо ориентироваться на конкретное рабочее место и конкретные условия труда. К санитарно-техническим условиям труда относятся такие производственные факторы как площадь и объём производственных помещений, микроклимат, освещённость, вентиляция, шумы, излучения. По результатам анализа санитарно-технических условий проводится количественная оценка вредных факторов и сопоставление ее с требованиями нормативных документов.

При анализе вредных выделений на участке выявлены следующие вредные вещества: масло минеральное, окись железа. Результаты замеров сведены в таблицу.

На проектируемом участке концентрация загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК по ГОСТ 12.1.005 – 88. Очистка

воздуха от загрязнения осуществляется с помощью фильтров и приточной – вытяжной вентиляцией.

Таблица 6.2 Результаты замеров вредных выделений

Наименование вещества	Макс.	Номин.	ПДК	Класс опасности	Агрегатное состояние
Окись железа	3,6	3,2	6	4	Аэрозоль
Масла минеральные	2,1	1,9	5	3	Аэрозоль

#### 4.2.1 Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Состояние микроклимата должно соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88.

Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- температура воздуха  $t$ , °С;
- относительная влажность воздуха  $\phi$ , %;
- скорость движения воздуха на рабочем месте  $v$ , м/с.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении

движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года.

По тяжести работ оператор относится к категории 2а. Параметры микроклимата не должны выходить за рамки допустимых значений (Таблица 1.2)

Таблица 4.2 - Результаты замеров микроклимата

Период года	Категория	Температура С°		Влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Фактическая	Допустимая	Фактическая	Допустимая	Фактическая	Допустимая
Теплый	2а	22	18-27	62	65	0,15	0,2
Холодный	2а	19	17-23	55	<75	0,1	0,2

На проектируемом участке показания замеров микроклимата не превышает допустимых пределов и обеспечивается за счет следующего:

В холодный период года – применение водяного отопления;

В теплый период года – искусственной вентиляцией.

#### 4.2.2 Производственный шум

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА..

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения; Плотные тяжелые воздухонепроницаемые материалы (сталь, свинец, бетон, каменная или кирпичная кладка, толстое стекло и т. п.) хорошо изолируют звуки, распространяющиеся по воздуху.

СИЗ:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

#### **4.2.3 Исследование освещенности рабочей зоны**

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место оператора должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через одно большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Световой поток создаваемый каждой из ламп рассчитывается по формуле (2)

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, \quad (2)$$

где  $F$  – световой поток одной лампы, лк;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 150$  лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>,  $S = 48$  м<sup>2</sup>;

$z$  – поправочный коэффициент,  $z = 1,1$ ;

$k$  – коэффициент запаса,  $k = 1,5$ ;

$\eta$  – коэффициент использования осветителей, %;

$n$  – число светильников в помещении.

Коэффициент  $k$  для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5.

Выбираем лампу ЛД-40, световой поток которой равен  $\Phi_{\text{лд}} = 2300$  Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40.

Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения ( $i$ ), рассчитанный по выражению (3)

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (3)$$

где  $A$  – длина помещения, м,  $A = 6$  м;

$B$  – ширина помещения, м,  $B = 8$  м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 50 \%$  и потолка  $\rho_n = 70 \%$ .

По формуле (4) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ).

$$h = H - h_p - h_c, \quad (4)$$

где  $h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0.8$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0.1$  м;

$H$  – высота потолка в помещении, м,  $H = 3.5$  м.

Из расчетов следует, что  $h = 2.6$  м, тогда согласно выражению (3)

$$i = \frac{6 \cdot 8}{2.6 \cdot (6 + 8)} = 1.32 \quad (5)$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$  и  $\rho_n$  примем  $\eta = 47\%$ .

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СНиП 23-05, рассчитаем количество лампочек в помещении, выразив отношение из формулы (2).

$$n = \frac{150 \cdot 48 \cdot 1.1 \cdot 1.5}{2300 \cdot 0.47} \approx 10 \quad (6)$$

Общее число светильников:  $n = 5$ .

Размещаем светильники в 3 ряда.

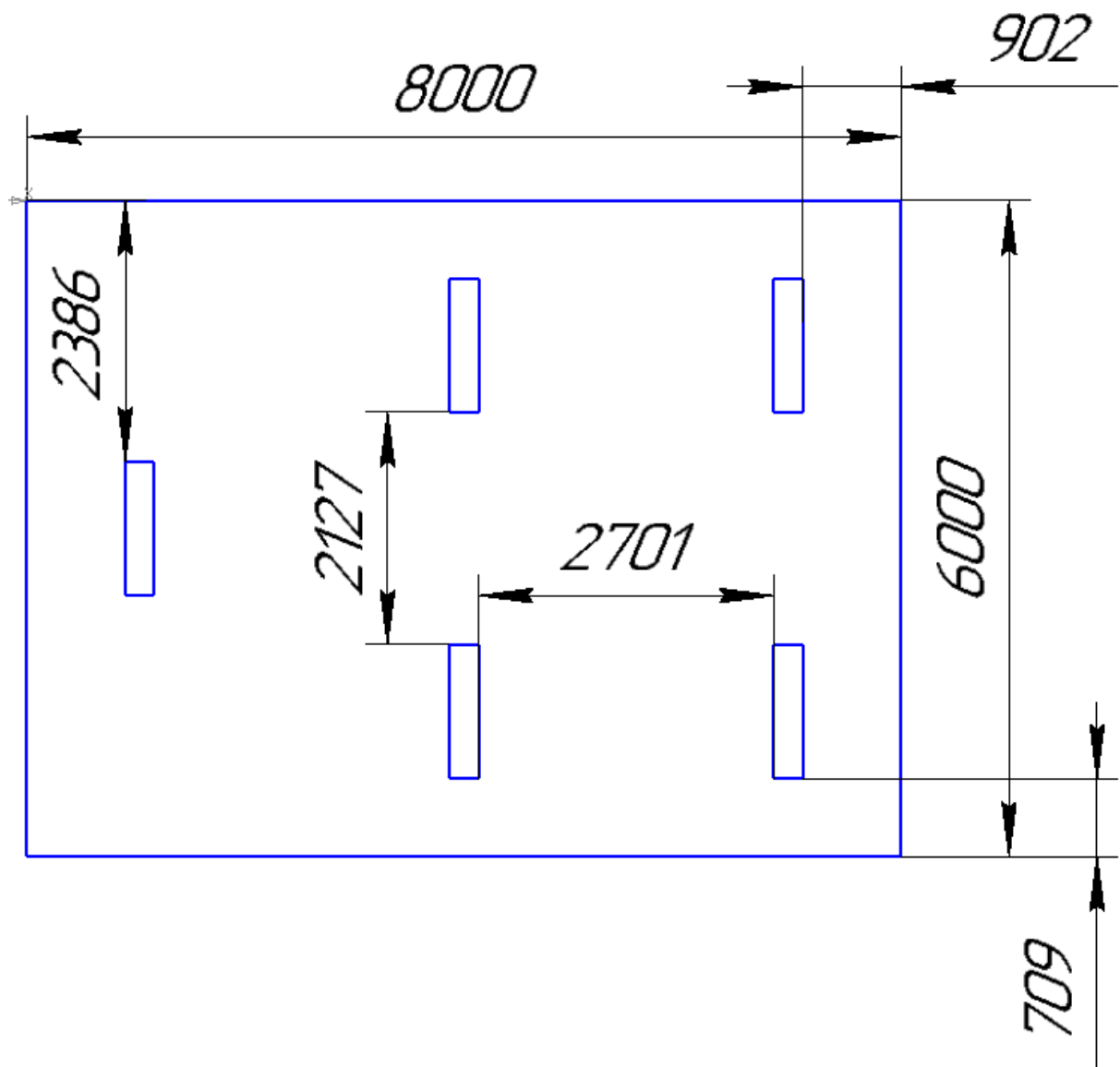


Рисунок 3. План размещения светильников в помещении.

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 \cdot 265 = 8000$$

$$L_1 = 2701$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_2 + L_2 + 2 \cdot 1227 = 6000$$

$$L_2 = 2127$$

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_p = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{10 \cdot 0,47} = 2527$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2300 - 2527}{2300} \cdot 100 \approx -9,8\%$$

$$-10\% \leq -9,8\% \leq 20\% \sim \text{Условие выполнено.}$$

#### **4.3 Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны



окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими, без выделения вредных газов и веществ, однако, в процессе металлообработки снимается слой металлической стружки, которая должна правильно утилизироваться для переработки (переплавки). Стружку необходимо разделить на цветной и черный лом, спрессовать, упаковать и отправить на переплавку. Ртутные лампы сдать в соответствующую фирму на утилизацию. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Лаборатория находится в городе Томск с резко-континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в лаборатории предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для

обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

#### **4.5 Электробезопасность**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Лаборатория относится к II классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Фрезерный станок работает в сети с напряжением 380 В.

В лаборатории применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения

защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокоевущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.  $R_{\text{зз.}} < 4 \text{ Ом.}$  А так же должно быть соблюдено безопасное напряжение и безопасная величина тока для человека.  $U=36 \text{ В, } I=0.1 \text{ А.}$

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

#### **4.6 Пожарная и взрывная безопасность**

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Категория помещения	Хар-ка веществ и материалов, находящихся в помещении
<b>А</b> — повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное

	избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
<b>Б</b> — взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрыво-опасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
<b>В1 — В4</b> — пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории <b>А</b> или <b>Б</b> .
<b>Г</b> — умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
<b>Д</b> — пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром

во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д: негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии.

Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В зависимости от своего прямого назначения и предполагаемого класса пожара все огнетушители условно можно разделить на пять видов:

1. Жидкостные, или водные виды огнетушителей представляют собой противопожарные средства, предназначенные для тушения пожаров класса А (возгорание твердых веществ) и Б (горение жидких веществ). Они имеют вид баллонов с маркировкой «ОВ» и содержат воду или раствор на водной основе, в состав которой входят химически активные вещества.

2. Порошковые устройства - это универсальные виды применяемых огнетушителей, которые можно смело использовать при

тушении почти всех классов пожаров: А, Б, В (возгорание газообразных веществ) Они имеют установленную маркировку «ОП»

3. Газовые или углекислотные приспособления – это большая группа устройств, имеющих одну общую маркировку «ОУ». К ней относятся следующие виды огнетушителей:

- аэрозольные;
- углекислотно-бромэтиловые.

4. Воздушно-пенные огнетушители «ОВП» – это приборы, которые используются для подавления очагов возгорания материалов, склонных к длительному тлению, например, бумаги, угля, дерева и пластмассы. Кроме того, с помощью таких огнетушителей можно потушить пламя, возникшее на жидкостях, имеющих масляную основу, к примеру, нефть, масла и краски.

5. Воздушно-эмульсионные огнетушители «ОВЭ» – устройства, созданные для тушения пожаров классов А, Б и В. Их принцип действия основан на энергии сжатого воздуха, применяемый при подаче огнетушащей эмульсии на пламя. С помощью таких огнетушителей нельзя потушить возгорания, связанные с газообразными веществами (пропаном, аммиаком, бытовым газом), щелочноземельными металлами и горением хлопка и пироксилина.

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

На рисунке 3.1 представлен план эвакуации аудитории 103, где проводились экспериментальные исследования.

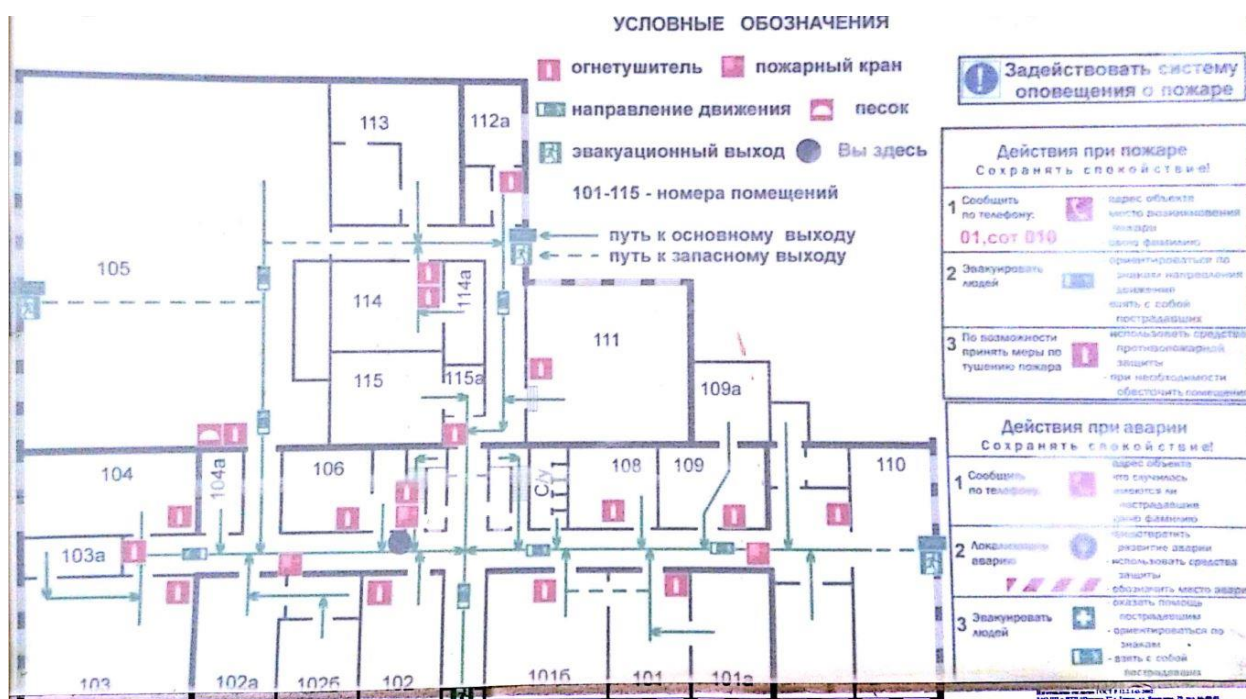


Рисунок 3.1 – План эвакуации

#### **4.7 Законодательные акты**

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"
15. ТОИ Р-15-050-97. Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки).



## Список литературы

1. Виттингтон К. Высокоскоростная механообработка [Электронный ресурс] / Виттингтон К., Власов В.В. // САПР и графика. – 2002 – N11 – С.10-15. – URL: <http://sapr.ru/article/8151> (дата обращения: 15.08.2017).
2. Серебrenицкий П.П. Некоторые особенности высокоскоростной механической обработки / Серебrenицкий П.П. // Металлообработка. – 2007. – № 4 (40). – С. 6–15.
3. “Высокоскоростное фрезерование: за и против”. Журнал “САПР и графика” 2/2003.
4. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве //CAM/CAE Observer. – 2003. – №. 4. – С. 2-8.
5. <http://www.iscar.com/ITA/MainPage.aspx>
6. <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/Pages/toolguide.aspx>
7. <http://catalogs.kennametal.com/?RelId=6.11.15.0.p1.15&lang=ru>
8. Delcam, High speed machining, /[www.powermill.com](http://www.powermill.com)
9. Marinac D. Tool path strategies for high speed machining //Modern Machine Shop (USA). – 2000. – Т. 72. – №. 9. – С. 104-110.
10. Gasparraj E. Constant material removal: the key to hard milling //Modern Machine Shop. – 2005. – Т. 77. – №. 9. – С. 86-88.
11. Richardson D. J., Keavey M. A., Dailami F. Modelling of cutting induced workpiece temperatures for dry milling //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2006. – Т. 46. – №. 10. – С. 1139-1145.
12. Rauch M., Duc E., Hascoet J. Y. Improving trochoidal tool paths generation and implementation using process constraints modelling //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2009. – Т. 49. – №. 5. – С. 375-383.
13. Matsubara A., Ibaraki S. Monitoring and control of cutting forces in machining processes: a review //International Journal of Automation Technology. – 2009. – Т. 3. – №. 4. – С. 445-456.

## Приложение А

Investigation of the applicability of high-speed toolpath for roughing on CNC machines.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ61	Возовиков Данил Максимович		

Консультант школы отделения ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Охотин И.С.	К.т.н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пичугова И.Л.			

## Introduction

High speed machining is becoming more and more important in modern machines shops, especially in aerospace machining, mold and stamp. High Speed Machining (HSM is short (Fig.1)) is the use of higher spindle speeds and feed rates to remove material faster as well as maintain the quality of part finishing [9]. Ideally, along a cutter path in HSM, the cutter should have a constant chip load and usually with a very small step-over at very high feed rates. Moreover, the path should avoid sharp turns. Otherwise, unexpected tool breakage that results from exceeding a tool's permissible loading conditions not only costs money, but also disrupts the machining process [10]. When using high-speed machining (HSM), the spindle rotation speed and the feed rate are higher than for conventional milling in order to minimize the manufacturing time without a decrease in the part quality [10]. The high rotation speeds and feed rates of HSM impose new constraints on the tool path: Due to its kinematic characteristics, the spindle has to slow down and stop its movement in a sharp corner, change its direction and accelerate until the desired maximum speed is reached again. The reduction of the speed has also thermal effects on the tool and on the currently machined location of the workpiece: The temperature at the point of contact rises if the feed rate shrinks [11].

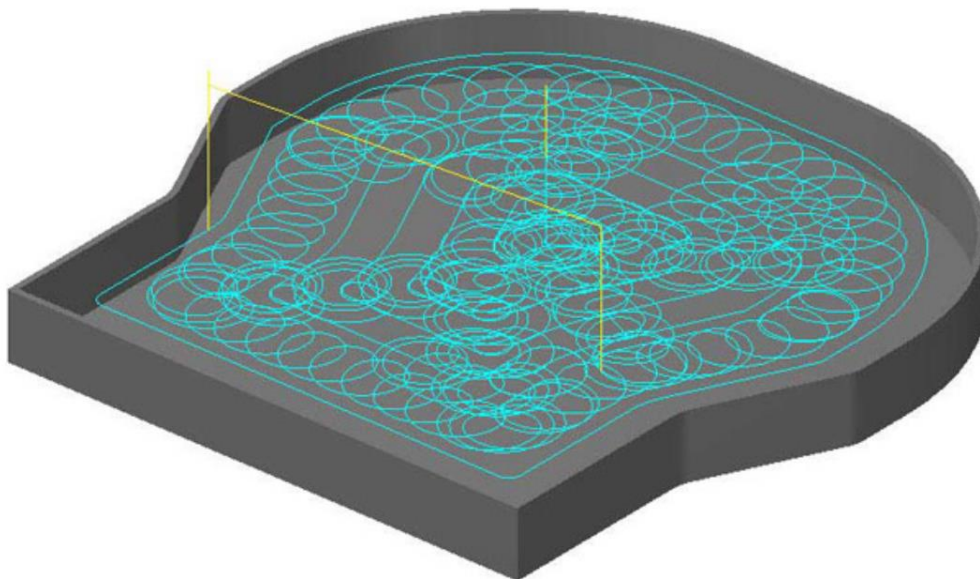


Fig.1 HSM toolpath

In addition to ensuring smoothness of the tool path, for HSM it is important to control the cutting width in order to limit the material removal rate. Since several interpretations of the term “cutting width” seem to be used in the machining industry while a commonly accepted concise definition does not seem to exist, we define the cutting width « $\delta$ » at a particular tool location as the directed Hausdorff distance from the fat line  $M$  to the dashed line  $B$  in Fig. 1(c), where  $B$  forms the border line between the previously and the currently machined area within the cutter circle, and  $M$  denotes the portion of the cutter circumference that is over the currently machined area. See Fig.2(a) - (c), where the material which was left uncut by the previous inner pass of the tool and which is currently machined is indicated by an area shaded in light gray. Of course,  $\delta$  is set to the diameter of the tool,  $D_{\text{tool}}$ , if  $B$  does not exist within the cutter circle, i.e., if the tool performs a full-width cut (such as a slotting cut).

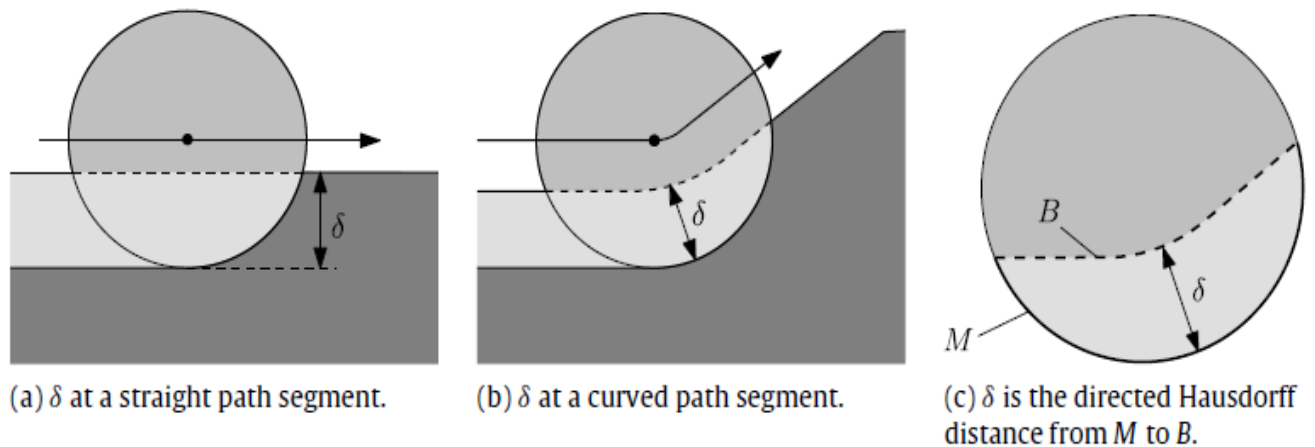


Fig 2. The cutting width  $\delta$

Common sense dictates that abrupt changes of the cutting width are to be avoided. Typically, for HSM a smooth tool path with an as steady as possible cutting width is sought. The cutting width should be bounded above by some value  $\lambda D_{\text{tool}}$ , where  $0 < \lambda < 1$  is a user-specified parameter.

Traditional approaches in finding path for 2D regions are normally either using zigzag path, or using contour-parallel paths. These paths cannot meet the

aforementioned requirements. Thus, we will consider another approach in finding such a path, i.e., using spiral curves.

### **Archimedean Spiral**

Traditional approaches in finding path for 2D regions are normally either using zigzag path, or using contour-parallel paths. These paths cannot meet the aforementioned requirements. Thus, we will consider another approach in finding such a path, i.e., using spiral curves.

An Archimedean spiral is a special curve which can have no sharp turn, and the step over between adjacent segments can also be controlled to a predefined value. However, traditional approaches in finding such a path either work for very simple convex regions, or, for irregular shapes, many overlap linkage paths have to be used. Thus, although spiral curves are promising, there is still not a good algorithm in generating a path which 1) covers the entire region, 2) has least number of turns, 3) uses a controllable step-over value. A clothoid spiral has the property that the second derivative varies linearly with the length of the curve. Therefore, it can be used to replace sharp turns and also be used in linking several disconnected segments together.

Archimedean spiral can be made by a point moving in a circle with constant speed. It starts in the origin and makes a curve with un-winded arms as shown in Fig. 3. The distances of intersection points along a line through the origin are the same.

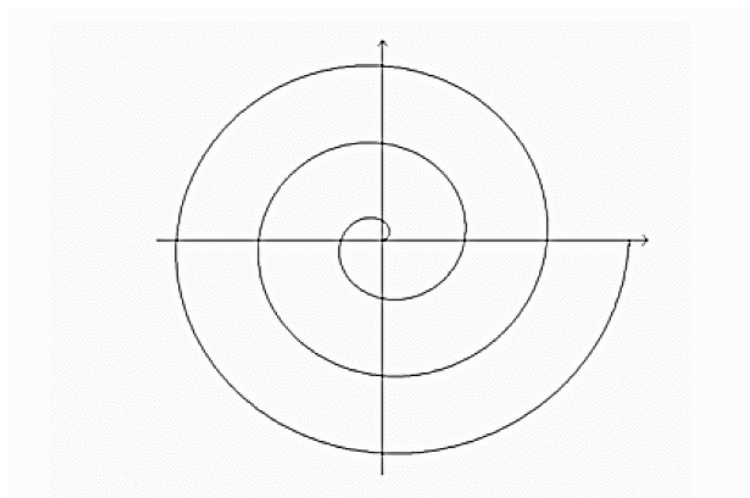


Fig. 3: Archimedean spiral with three rounds.

We introduce an alternative to conventional contour-parallel machining. We compute a spiral-out tool path that exhibits the following properties, see Fig. 4:

1. The tool path starts at  $R$  and stops once  $\delta S$  is reached.
2. It has no self-intersections.
3. It is smooth, i.e., continuous. (Further smoothing yields continuity.)
4. The cutting width “ $\delta$ ” is strictly greater than zero and strictly less than  $d$  along the entire tool path.

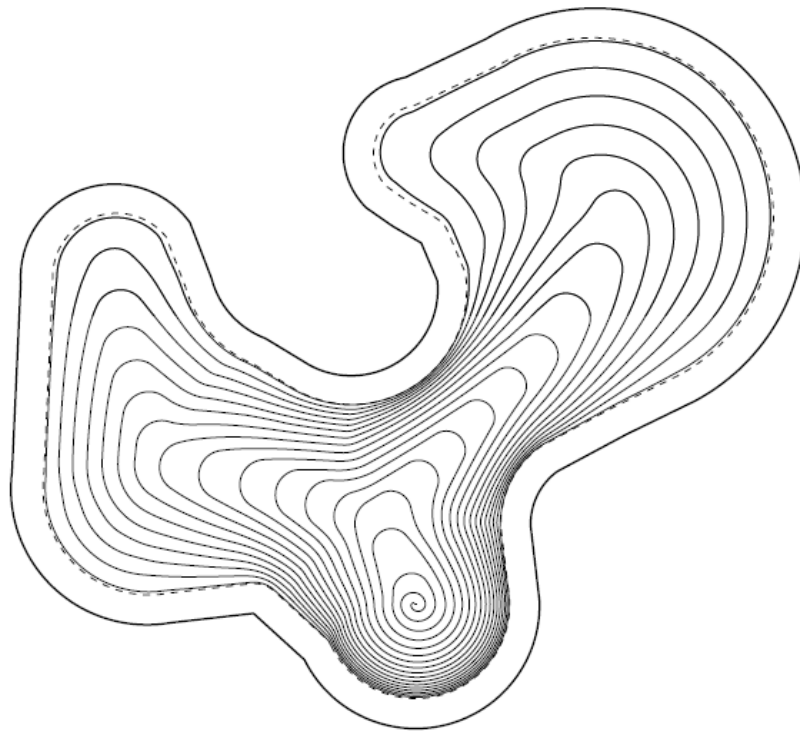


Fig. 4. Continuous spiral tool path.

### **Trochoidal milling toolpath**

A trochoidal tool path is defined as the combination of a uniform circular motion with a uniform linear motion. As a result, trajectory radius is continuous, which creates favorable milling conditions in terms of tool loads and kinematics.

The idea of employing trochoidal milling tool paths is recent, but their great potential was already detected by CAM editors and hence the latest releases of their software include these strategies [8]. CAM tool path generators employ trochoidal paths to avoid high-load cuts [12].

Trochoidal milling is a method of machining used to create a slot wider than the cutting tool's cutting diameter. This is accomplished using a series of circular cuts known as a trochoidal tool path. A form of High Efficiency Milling (HEM), trochoidal milling leverages high speeds while maintaining a low radial depth of cut (RDOC) and a high axial depth of cut (ADOC) (Fig.5).

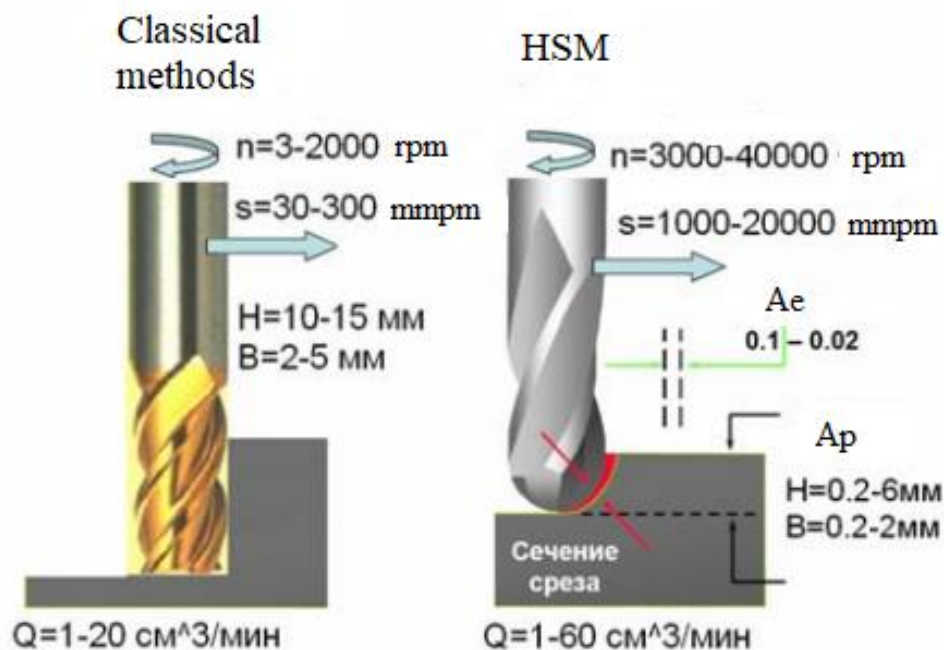


Fig.5. Cutting parameters

Trochoidal milling is largely based on the theory surrounding chip thinning in machining. Conventional thinking suggests that cutting tools have an optimal chip load that determines the ideal width and size of the chips produced. The concept of combating chip thinning involves machining with a chip load that is larger than “optimal” in order to maintain a constant maximum chip thickness.

In contrast to a completely linear radial tool path in conventional machining, trochoidal milling takes advantage of a spiral tool path with a low RDOC to reduce load and wear on the tool (Fig. 5).

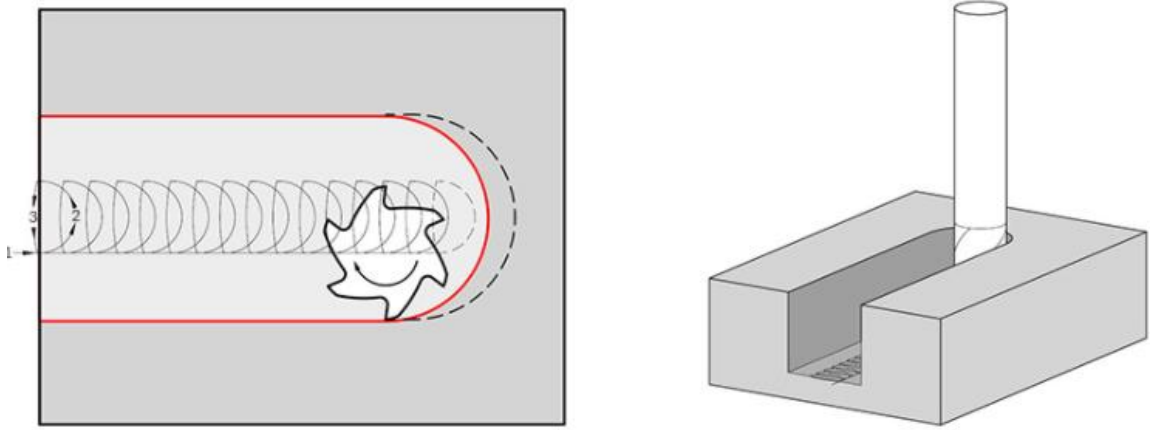


Fig.5. Trochoidal milling toolpath

The advantages of applying Trochoidal Milling are as follows:

- Decreased cutting forces
- Reduced heat
- Greater machining accuracy
- Improved tool life
- Faster cycle times
- One tool for multiple slot sizes

### **Tool path modelling and maximal radial depth of cut calculation**

A trochoidal tool paths model using a circular interpolation was previously proposed by Otkur and Lazoglu [13]. This model fully respects CAM-generated tool paths. Their main objective is to propose a prediction method for tool loads. They also suggest enriching this type of milling strategies by using double trochoids, which could increase the productivity of these trajectories. However, such tool paths introduce up/down cut configurations, which cannot be implemented for some tool/material pairs. Their study focused on slot milling cases with one milling direction. Kinematics issues are not taken into account. In addition to that, nothing is proposed for optimizing the parameters selection.

The main purpose of trochoidal strategies is to set up a tool path that avoids up/down cut and full-immersion configurations while respecting a maximal radial



depth of cut value. There are basically two approaches to ensure that these constraints are satisfied. The first one consists in real-time modelling of the machined part. The interest of such approach is to reproduce the exact state of the work piece during the machining but it can lack in precision depending on the size of the meshing. The second method aims at predicting the trochoidal step according to maximal radial depth of cut constraint. The calculation is made once for the complete tool path which decreases computation times. Thus, it is necessary to propose a geometrical model that predicts maximal radial depth of cut for a given  $(R_{\text{tool}} - R_{\text{trocho}} - S_{\text{tr}})$  set, where  $R_{\text{tool}}$  stands for tool radius,  $R_{\text{trocho}}$  for trochoidal radius and  $S_{\text{tr}}$  for trochoidal step.

The circular model consists of linking two circles with a linear segment. Up to now, most of CAM software editors [8] apply this model because it is quite easy to implement on actual CNC systems, which are dedicated to control tool paths made of lines and circles.

Maximal radial depth of cut calculation can be based on two models of a trochoidal tool path: a circular model and a trochoidal model (Fig. 6).

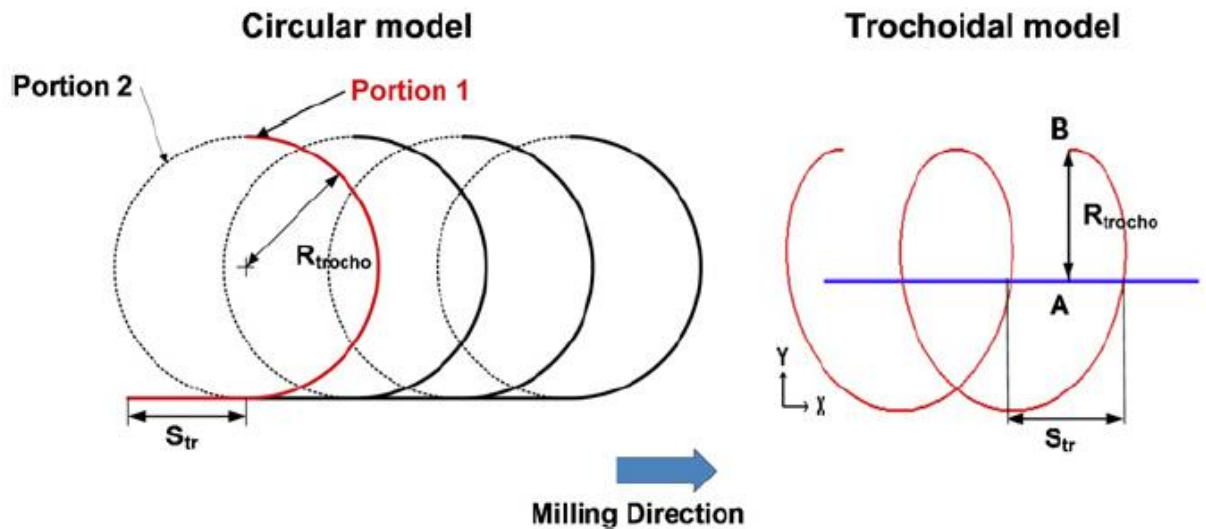


Fig. 6. Circular and trochoidal models employed to generate trochoidal tool paths.

Tool path is modelled as two successive circles linked with a linear segment (Fig. 7). This trochoidal tool path modelling was  $0.5\text{mm}$  to  $R_{\text{trocho}}+2R_{\text{tool}}+1$  in order to evaluate various practical cases.

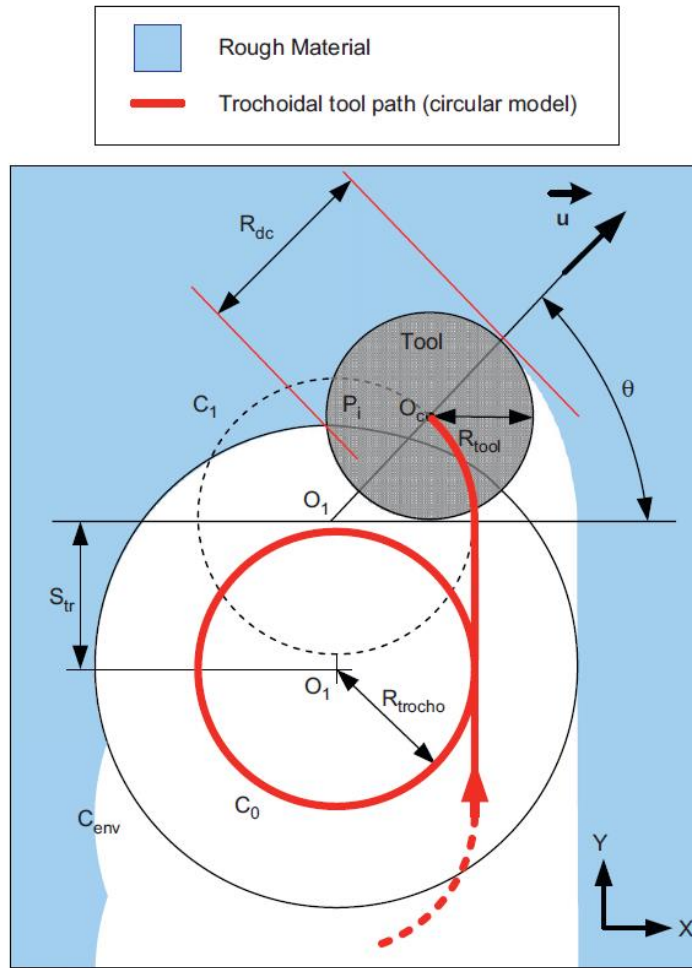


Fig. 7. Radial depth of cut calculation model and parameterization.

The trochoidal model is directly associated to the shape of the trochoid, regarding to its mathematic definition. Programmed tool path is consequently continuous in tangency and in curvature but calls for advanced programming functions to be implemented efficiently.

### 1. Complete toolpath calculation

In this section, complete tool path is calculated according to the previously defined pattern. The objective is to generate the fastest tool motion on the machine tool. There are above all two phenomena that cause feed rate reduction during machining. The first one is linked to the crossing of tangency and curvature

discontinuities of the tool path. The second is the selection of an appropriate tool path interpolation format, which enables the use of a high feed rate without any CNC perturbation. Complete tool path generation can be considered as performing if it overcomes these two issues.

Such modelling leads to continuous toolpath generation for the whole profile. Toolpath is continuous in tangency and curvature whatever the pocket profile. An example of pocket profile discontinuity crossing is given in Fig.8.

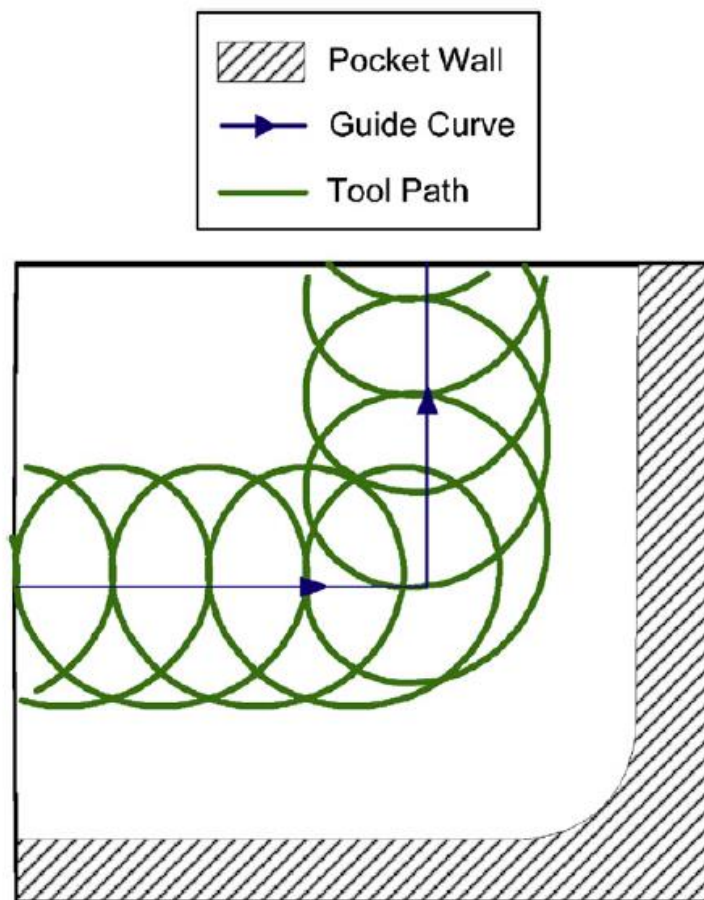


Fig.8. Guide curve discontinuity crossing using proposed approach is made continuously.

The second type of tool path discontinuity occurs at the linking path between two consecutive layers. Usually, this tool path portion consists of a ramp or a helical plunging, which creates profile discontinuities and can lead to full-immersion milling conditions. However, when using trochoidal tool paths, it is necessary to

ensure the control of radial and axial depth of cut along the whole tool path. Helical and ramps are consequently not adapted.

It is proposed here to use a trochoidal plunging to connect the milling layers instead of classical helical or ramp plunging. This tool path portion is based on the trochoidal pattern which is used on each level. An axial depth of cut ratio is added to the pattern at every trochoidal rotation until final axial depth of cut is reached. This tool path type can also be seen as a combination of a trochoidal path and a helical plunging. An example is given in Fig. 8.

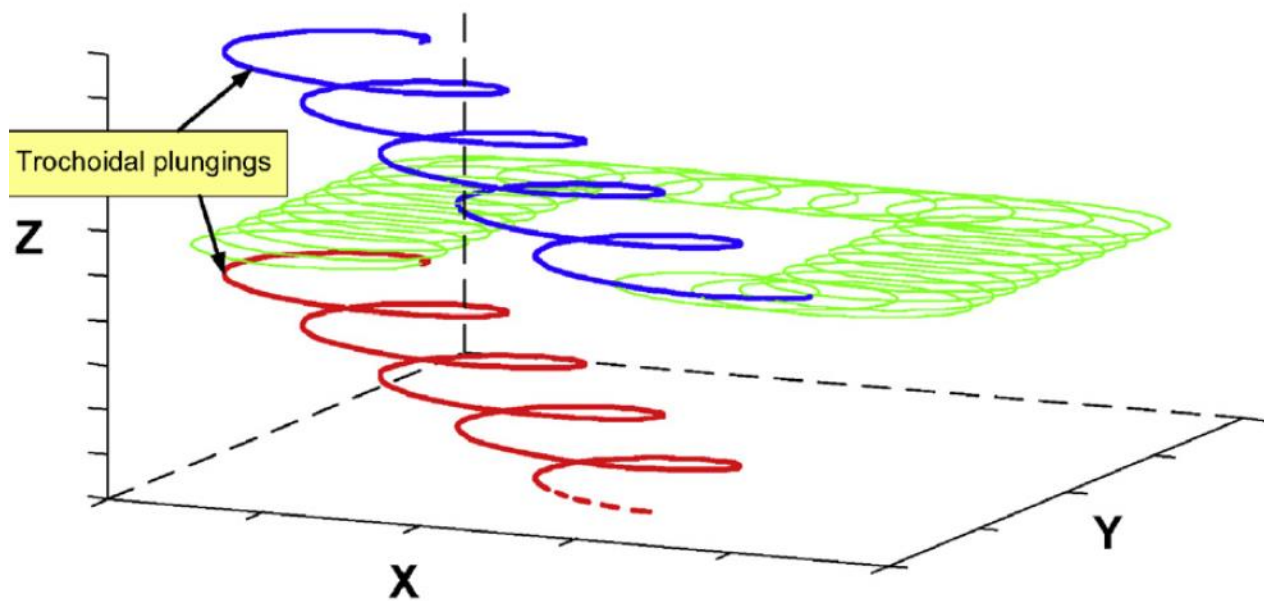


Fig. 9. Example of trochoidal plunging between the milling levels that enable the tool path to be continuous along the whole pocket.

As a result, tool path is continuous in tangency and curvature at the beginning and at the end of each layer, which is better for kinematics behavior of the machine tool.

## 2. CAM system

CAD-CAM CNC Software is necessary to produce this type of trochoidal High Speed toolpath (fig.2) and optimized speeds and feeds for programming based off the part model, tooling used and material data. When it comes to High Speed

Machining, it is highly recommended that CAD/CAM software be used in the programming phase to ensure best results.

- **SprutCAM**

SprutCAM is a system for the generation of NC programs for the machining of parts on multiaxis milling, lathe, turn mill, EDM machines and machining centers with numeric control. The system permits to create NC programs for machines with various kinematic schemes and can be used with any types of CNC machines.

- **VERICUT**

VERICUT is a 3D solids-based software program that interactively simulates the material removal process of an NC program. The program depicts multi-axis milling/drilling as well as multi-axis turning and combination mill/turn machining. It enables you to verify the accuracy and quality of your NC program. Inefficient motion or programming errors that could potentially ruin a part, damage the fixture, or break the cutting tool can be corrected before the program is run on an CNC machine tool.

- **Milling Advisor**

The Helical Milling Advisor is designed to calculate optimal milling parameters, will help users get the most out of Helical endmills. This free, downloadable program provides recommendations for various milling options, including traditional and high efficiency machining techniques. These recommendations, based on material type, endmill features, machine set-up, and other factors, provide you with a good starting point for running Helical endmills.

## **Conclusion**

In the current algorithm, we consider the center curve of a spiral to be machined by a cutter that is fully engaged with the material. Obviously, this is not preferred in HSM. However, this problem can be easily solved by applying trochoidal movements when creating centers. In other words, instead of creating the

center using one single path, we use trochoidal path along the center line, such that the final path will be acceptable for HSM.

Trochoidal toolpaths implementation on NC machine tools validate the proposed approach and define requirements associated to the manufacturing mean. CNC controllers must dispose of high-level tool paths description formats (such as Splines) to avoid harmless tool vibrations: machine tool behavior is improved with benefits in regards to tool life and machined part accuracy. High axis dynamics (acceleration and jerk) are required also to execute the trochoidal motions at programmed feed rate. Cutting forces are consequently controlled.